

**Universidad Nacional de Ingeniería**

**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA GEOLOGICA,  
MINERA Y METALURGIA**



**PREVENCION Y CONTROL DE INCENDIOS EN LA MINERIA**

**T E S I S**

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO

DE MINAS

**JOSE CARLOS BELLINA KOHLER**

**PROMOCION 1974 - 1**

**LIMA ★ PERU ★ 1975**

**A MI MADRE**

**A MI ESPOSA**

# PREVENCIÓN Y CONTROL DE INCENDIO EN LA MINERÍA

## I N D I C E

Página

### Historia

### Introducción

### Capítulo I. TEORÍA DEL FUEGO

1.1	Definiciones básicas	1
1.2	Características y comportamiento del fuego	2
1.3	Reacciones de oxidación	3
1.4	Ignición y Combustión	4
1.5	Calor específico	6
1.6	Calor latente	7
1.7	Transferencia de calor	7
1.7.1	Conducción	8
1.7.2	Radiación	9
1.7.3	Convección	12
1.8	Productos de combustión y sus efectos sobre el hombre	12
1.8.1	Gases de combustión	12
1.8.2	Llama	19
1.8.3	Calor	20
1.8.4	Humos	21
1.9	Insuficiencia de oxígeno.	22

**Capítulo II. TEORIA DEL CONTROL DE FUEGOS**

<b>2.1</b>	<b>Extinción por enfriamiento</b>	<b>23</b>
<b>2.2</b>	<b>Extinción por separación del agente oxidante del combustible</b>	<b>25</b> <b>25</b>
<b>2.3</b>	<b>Extinción por dilución o remoción del combustible.</b>	<b>28</b>
<b>2.4</b>	<b>Extinción química.</b>	<b>30</b>

**Capítulo III. AGENTES IGNIFUGOS**

<b>3.1</b>	<b>Agua</b>	<b>33</b>
<b>3.2</b>	<b>Limitaciones del agua como agente extintor</b>	<b>38</b>
<b>3.3</b>	<b>Bioxido de carbono</b>	<b>45</b>
<b>3.4</b>	<b>Limitaciones del CO<sub>2</sub>, como agente extinguyente</b>	<b>50</b>
<b>3.5</b>	<b>Polvo químico</b>	<b>51</b>
<b>3.6</b>	<b>Usos y limitaciones del polvo químico</b>	<b>56</b>
<b>3.7</b>	<b>Espumas extinguyentes</b>	<b>59</b>
<b>3.8</b>	<b>Usos y limitaciones de las espumas</b>	<b>67</b>
<b>3.9</b>	<b>Agentes halogenados</b>	<b>69</b>
<b>3.10</b>	<b>Cualidades individuales de los halogenados</b>	<b>71</b>
<b>3.11</b>	<b>Agentes para metales combustibles.</b>	<b>79</b>

**Capítulo IV EQUIPO CONTRA INCENDIO ADECUADO A LA MINERIA**

<b>4.1</b>	<b>Extintores portátiles</b>	<b>84</b>
<b>4.2</b>	<b>Equipo apropiado para labores subterráneas</b>	<b>89</b>
<b>4.3</b>	<b>Equipo apropiado para labores en superficie</b>	<b>92</b>
<b>4.4</b>	<b>Distribución del equipo extintor</b>	<b>94</b>

	<u>Página</u>
<b>Capítulo V</b>	
	<b><u>INCENDIOS EN ANFO</u></b>
5.1 Nitrateo de Amonio	102
5.2 Incendios en ANFO	106
5.3 Soluciones al problema.	116
<b>Capítulo VI</b>	
	<b>OTROS POSIBLES INCENDIOS EN MINERIA</b>
6.1 Polvorines, Almacenes y Maestranza	128
6.2 Métodos de ataque al fuego	133
6.3 Discusión Técnico-Económica	137
<b>Capítulo VII</b>	
7.1 Conclusiones	147
7.2 Recomendaciones	149
7.3 Bibliografía	149
7.4 Planos	

## I N T R O D U C C I O N

El avance tecnológico actual, obliga al profesional dedicado a la seguridad y específicamente al del sector minero, a una constante superación, debido a la limitación de recursos en algunos casos y a la sofisticación de equipos y procedimiento, que si bien es cierto marcan nuevos logros en productividad, también generan nuevos problemas de orden técnico cuya solución implica determinaciones no comunes al medio.

Conceptualmente, el país, ha llegado, en el campo de la seguridad minera, a un estado de madurez tecnológica que posibilita la resolución de muchas situaciones que en el pasado se caracterizaban por su alto riesgo, y que en la actualidad se les considera de bajo riesgo o ninguno.

Este trabajo está programado especialmente con el fin de despejar una serie de dudas que pudieran presentarse al Ingeniero de Seguridad de Minas, al planificar el sistema contra-incendio a usar en el centro minero que presta servicios. Ha sido necesario enfocar además algunas sugerencias para proteger polvorines y dar a conocer experiencias logradas en sucesivas pruebas de laboratorio y de campo con el ANFO, que en síntesis resulta la mayor inquietud para los Ingenieros de Seguridad en el Perú y en el extranjero.

Convencido que un profesional, no puede ceñirse a las especificaciones, recomendaciones y sugerencias de un vendedor empírico, se presenta la siguiente tesis con el fin de ampliar conocimientos necesarios y poder mantenerse dentro de las exigencias de la Ley, con la mayor economía, seguridad y eficiencia posible.

## ANTECEDENTES HISTORICOS

El fuego controlado siempre ha sido uno de los aspectos - más importantes en la vida humana. Desde épocas remotas, el hombre nómada logró su conservación, y posteriormente, lo introdujo a las cavernas obteniendo de él luz y calor, energías esenciales para su subsistencia. Consideramos una caverna como el origen primitivo de una mina, debido a que no todas las excavaciones donde esos seres - habitaron fueron de origen natural. Si en la actualidad se excava, el fin buscado es mejorar el standar de vida del individuo, en cualquiera de los niveles del proceso en que éste se halle, es así pues que el antiguo hombre excavó en lugares donde el agua, maderas y animales abundaban, las dimensiones de su cueva estaban probablemente en relación directa con su fuerza y con su habilidad. Estos dos últimos aspectos, en la vida moderna, se llaman fuerza económica y habilidad financiera, y marcan en gran parte la amplitud de la compañía o negocio.

Probablemente, la acumulación de leños, pieles, hojas secas, boñiga, etc. aunado a un descuido, ocasionó el primer incendio en una de estas cavernas o excavaciones primitivas. El número de estos siniestros y el número de víctimas, especialmente niños, se pierden en la Protohistoria.

Con el avance de la humanidad en el campo de los conocimientos, se produjo la ampliación de las necesidades, y el hombre del pasado se vió obligado a extraer de la tierra los elementos necesarios, que el avance humano le exigía. Si en un principio los tomó de la superficie, con el transcurso del tiempo se vió obligado a conseguirlos cada vez a mayores profundidades, con el consiguiente peligro de quedar sepultado o morir asfixiado por falta de ventilación adecuada.

Las técnicas actuales de sostenimiento en base a postes de madera, el empleo de durmientes, lubricantes, explosivos, electricidad, etc., si bien es cierto, que llevó a la productividad a niveles jamás imaginados, también trajo nuevos problemas de incendio en las minas.

Desde antaño, el uso del agua se reconoció como el método primordial para controlar incendios. Los baldes de agua usados al principio se podrían considerar como los primeros extinguidores portables. En la época Colonial, cada dueño de casa debía tener por lo menos dos baldes para controlar incendios. A veces se recolectaban éstos y se usaban para casos de alarma, por los bomberos voluntarios.

Luego se desarrollaron otros "extinguidores" de agua, algunos más ingeniosos que prácticos. Por ejemplo, en el siglo XVIII

se obtuvieron patentes para un "eniquilador de incendios", que sólo consistía en un embase grande con agua, diseñado para ser tirado al fuego con un contenido de pólvora dentro, que al explotar dispersaba el agua en varias direcciones. Otro aparato que sobresalió, fué el "Chorro" que consistía en un cilindro de agua con un tapón quebradizo. A costa de experimentos e ideas, junto con la necesidad, se desarrolló lo último en extinguidores, algo realmente portátil. Este fué el aparato con "soda ácido" de 2 1/2 galones, y los que se usan en la actualidad, tienen el mismo principio.

Una de las primeras sustancias químicas que se emplearon en los extinguidores portátiles, fué el tetracloruro de carbono ( $\text{CCL}_4$ ), estos fueron usados en forma limitada, pero no han sido tan populares en los últimos años, como otros extinguidores de tamaño y peso similar más efectivos.

Años después salieron los extinguidores con espuma. Al mezclar una solución de sal alcalina en agua, con una solución de sal ácida, se descubrió que era posible producir un agente extinguyente que enfriaba y apagaba los incendios de líquidos inflamables. Luego se evolucionó a otros extinguidores con sustancias químicas, incluyendo a los que empleaban dióxido de carbono y sustancias químicas secas, de diferentes fórmulas y varios líquidos vaporizantes y gases liquefactados, como el clorobromometano y bromotrifluorometano.

Junto con el desarrollo de varios agentes utilizados en extinguidores portátiles, también se nota el desarrollo en el diseño, material de construcción y efectividad en los extinguidores mismos. Por ejemplo, los extinguidores de agua modernos que se están produciendo, son del tipo presurizados, equipados con manómetros, los cuales indican si el extinguidor está operativo. Estos están reemplazando a los de tipo de soda-ácido, y a los de tanques de bombeo, para todo uso.

Otro desarrollo reciente ha sido la producción del "descartable", que es un extinguidor con sustancias químicas secas donde el pitón y válvula pueden ser removidos del envase del aparato que contiene el agente. Una vez usado, el envase se descarta y luego se pone un nuevo envase de la fábrica ya cargado y sellado el cual se conecta con el pitón y válvula. La forma de los pitones ha sido mejorada y así aumentar el alcance de la descarga efectiva del extinguidor.

Recientemente han aparecido los extintores automáticos, que trabajan mediante un dispositivo térmico, que al elevarse la temperatura se dispara el equipo, logrando la extinción, sin la participación del operador.

Es de desear que los actos de heroísmo, en los cuales un hombre acudía en auxilio del compañero arriesgando su propia vida-

y perdiéndola en muchos casos, no se repitan si no por el contrario la ingeniería de prevención anule las situaciones de riesgo, y si por fatalidad ocurre el auxiliador cuente con todos los elementos necesarios del caso, para que su intervención no se efectúe en situaciones de alto riesgo.

El Perú, país con tradición minera, presenta en su historia situaciones ampliamente superadas al amparo de la Ley de Minería N° 18880.

# C A P I T U L O I

## TEORIA DEL FUEGO

### GENERALIDADES:

#### 1.1. DEFINICIONES BASICAS:

##### Fuego

Es una serie de reacciones de oxidación-reducción en cadena, que generan luz, calor y gases.

##### Calor de Combustión

Es la cantidad de calor desprendida durante la oxidación completa (combustión). Normalmente se expresa en BTU por pié cúbico.

##### Ignición Expontánea

Es el resultado de un incremento en la temperatura del material, producido por la oxidación (combustión) y la poca capacidad de disipar el calor que se genera, alcanzando así la temperatura de ignición.

##### Temperatura de Ignición

Es la mínima temperatura con que una sustancia puede sostener o iniciar su combustión, independientemente de un elemento generador.

## 1.2. CARACTERISTICAS Y COMPORTAMIENTO DEL FUEGO

Fuego o combustión puede ser descrito ~~como~~ una rápida oxidación con desprendimiento de calor y luz. Un conocimiento de las condiciones que determinan tan rápida oxidación en una sustancia que arde, es esencial para la prevención, control y extinción del fuego.

Toda sustancia está formada por átomos y grupos de átomos (moléculas), y cada cual presenta unidades de energía (electrones, protones, neutrones etc) en continuo movimiento. Las propiedades físico-químicas de una sustancia están determinadas por el tipo, número y relaciones de esas unidades de energía de los átomos de la sustancia, imprimiendo así características propias al tipo de fuego que es capaz de generar.

Cuando dos sustancias reaccionan entre sí, formando una tercera, existe variación en los niveles energéticos de ambas sustancias, y por ello es de esperar una nueva forma de combustión.

Las reacciones químicas son de dos tipos, endotérmicas y exotérmicas. En la reacción endotérmica las sustancias formadas contienen más energía que los materiales resultantes y contrariamente en una reacción exotérmica la sustancia resultante contiene menos energía que los materiales que la forman.

Por la ley de la conservación de la energía, los niveles energéticos involucrados en una reacción química son siempre constan -

tes y la energía puede mostrarse en muchas formas diferentes, pero usualmente se añade o elimina de una reacción química bajo la forma de calor

### 1.3. REACCIONES DE OXIDACION

Las reacciones de oxidación que involucra a los fuegos son exotérmicas, esto implica que uno de los productos de la reacción es el calor. Muchas de ellas son completas y otras no lo son, pero el conocimiento aún parcial de ellas, traen como consecuencia una mejor aplicación de los conocimientos en su control y extinción.

Es imprescindible que en una reacción de oxidación, intervengan un material combustible en presencia de un agente oxidante. La determinación si un material puede o no promover su oxidación, depende del conocimiento químico que se tenga del material, pero para razonamientos prácticos podemos generalizar que los materiales compuestos - por carbono e hidrógeno pueden ser oxidados. La mayor parte de los sólidos orgánicos, líquidos inflamables y gases contienen porcentajes de carbono e hidrógeno. Por ejemplo, tomando los porcentajes por peso de tres compuestos combustibles son:

Algodón:      Carbono 44.5%, Hidrógeno 6.2%, Oxígeno 49.3%

Propano:      Carbono 81.8%, Hidrógeno 18.2%, y

Benceno:      Carbono 92.3%, Hidrógeno 7.7 %.

Por contraste tres compuestos no combustibles muestran sus porcentajes de composición por peso de la siguiente forma:

**Tetracloruro de Carbono:** ~~Carbono~~ 7.8%, Hidrógeno 0%, Cloro 92.2%  
**Agua:** Carbono 0%, Hidrógeno 11.1% Oxígeno 88.9%

El más común de los oxidantes es el aire (el aire contiene, aproximadamente una parte de oxígeno y cuatro partes de nitrógeno en términos generales). Ciertas sustancias químicas desprenden oxígeno bajo circunstancias favorables, como por ejemplo, el nitrato de sodio y el clorato de potasio; son menos comunes pero bien conocidos los agentes oxidantes que se encuentran en los incendios. Unos cuantos materiales combustibles, como el ANFO contienen oxígeno combinado en sus moléculas produciendo combustiones parciales en ambientes carentes de oxígeno.

La combustión puede ocurrir en atmósferas de cloro, dióxido de carbono, nitrógeno y algunos otros gases, sin que el oxígeno tenga que estar involucrado. Es así que el polvo de circonio puede encenderse en atmósfera de bióxido de carbono, pero estos casos son raros y la ingeniería de prevención minera debe contemplar principalmente combustiones en presencia de oxígeno.

#### 1.4. IGNICION Y COMBUSTION

La oxidación de un material se realiza continuamente mientras exista el agente oxidante, para nuestro estudio el aire en mina, pero a temperatura ambiente, la reacción es usualmente muy lenta y no es perceptible por nuestros sentidos. El amarilleo de un papel o el herrumbre del fierro son ambos el resultado de una lenta oxidación.

Con adición de temperatura la oxidación puede generar llama, lo que origina un gran desprendimiento de calor. Si el calor que se desprende es suficiente para mantener la reacción una vez que la adición de temperatura es anulada, y si se mantiene la flama con rayos de calor visible, se dice que ha ocurrido la ignición. Es importante anotar la diferencia entre CALOR y TEMPERATURA. Calor es una cantidad medible y temperatura es la medida de intensidad. Por ejemplo, una libra de gas propano desprende cierta cantidad de calor (21,646 BTU) y éste es usado para elevar la temperatura de 1,000 lbs. de agua  $21.6^{\circ}\text{F}$  (intensidad).

La combustión toma lugar solamente después que el sólido o líquido se vaporizan o descomponen por calor produciendo un gas y la llama visible proviene del gas encendido. Sin embargo en el caso que estos combustibles sólidos no se evaporen o descompongan formando gases a las temperaturas ordinarias del fuego, la combustión toma lugar por la directa combinación del combustible con el oxígeno como es el caso del carbón vegetal, que se puede encender después que sus gases combustibles han ardido en el proceso de su preparado.

Resumiendo, la ingeniería de prevención de incendios se basa en los siguientes principios:

1. Un agente oxidante, un material combustible y un origen de ignición son esenciales para la combustión.

2. El material combustible debe ser calentado hasta su temperatura de ignición para que se encienda.
3. La combustión puede continuar hasta:
  - a) Que el material combustible se consuma
  - b) Que la concentración del agente oxidante baje del límite necesario para sostener la combustión
  - c) Que el material combustible sea enfriado por debajo de la temperatura de ignición.

#### 1.5. CALOR ESPECIFICO:

Calor específico o más propiamente capacidad de calor o - capacidad térmica de una sustancia, es el número de BTU requeridos para elevar una libra de la sustancia 1°F, ó el número de calorías necesarias para elevar 1°C a un gramo del producto. El calor específico de las sustancias varía en un rango considerable y todas con excepción del agua son menores que la unidad. Esto es importante para la prevención de fuegos, pues nos indica la cantidad de calor necesario para elevar la temperatura a un punto de peligro o la cantidad de calor a extraerse de una sustancia caliente, para conseguir una temperatura que dé seguridad al producto.

Una de las razones por las que el agua es un efectivo agente extingüente es que su calor específico es mas alto que el del resto de sustancias.

### 1.6. CALOR LATENTE

El calor es absorbido por una sustancia cuando se convierte de sólido a líquido y de líquido a gas. Inversamente el calor se desprende durante la conversión de un gas a líquido o de un líquido a sólido.

El calor latente es la cantidad de calor absorbido o expulsado por una sustancia en el paso entre fases líquidas y gaseosas (calor latente de vaporización) o entre fases sólidas y líquidas (calor latente de fusión). El calor latente es medido en BTU o calorías por unidad de peso. Así, el calor latente del agua a la presión atmosférica del nivel del mar, para la formación del hielo (32°F) es 143.4 BTU, por libra; el calor latente en el punto de ebullición (212°F) es 970.3 BTU por libra. El alto calor de vaporización del agua, es otra razón para la efectividad del agua como agente extingente.

### 1.7. TRANSFERENCIA DEL CALOR

La transferencia de calor es responsable del inicio o extinción de la mayor parte de fuegos. El calor es transferido por uno o más de los siguientes métodos:

- a) Conducción
- b) Radiación
- c) Convección

### 1.7.1. Conducción

Por conducción el calor de un cuerpo es transferido a otro por contacto directo o a través de medios conductores sólidos, líquidos o gaseosos. La cantidad de calor transferido por conducción depende de la conductibilidad térmica del material y del área de contacto.

El rango del calor transferido a través del material es directamente proporcional a la diferencia de temperatura entre las sustancias en contacto.

La transmisión del calor por conducción a través del aire u otros gases es directamente proporcional a la presión absoluta del gas. No se realiza transferencia de calor en el vacío. A presión atmosférica los sólidos son mejores conductores del calor que los gases es por eso que los aislantes comerciales consisten en finas partículas o fibras de sustancias sólidas con espacios entre ellas llenas de aire. Sobre este punto el flujo de calor es diferente al agua, el cual puede ser detenido por una barrera sólida. Los aislantes tienen una baja conductibilidad y el calor fluye a través de ellos muy lentamente pero no lo detiene como podría hacerse con el agua.

Llenando los espacios entre el foco de calor y el material combustible con aislantes, puede no ser suficiente para prevenir la ignición. Si el rango del calor conducido a través del mate

rial aislante es mayor que el rango de lo que disipa el material combustible, entonces la temperatura de este último se puede incrementar hasta el punto de ignición.

### 1.7.2. Radiación

Por radiación el calor es transferido de un cuerpo a otro por medio de rayos caloríficos a través del espacio.. El calor radiante pasa libremente por el vacío y por gases con moléculas simétricas, como son: el hidrógeno, el oxígeno y el nitrógeno. Siendo el aire una mezcla principalmente de oxígeno y nitrógeno no hay absorción de calor radiante por parte del aire, excepto cuando contiene vapor de agua, monóxido de carbono, dióxido de carbono, anhídrido sulfuroso, hidrocarburos y otros contaminantes. En general, excepto en atmósferas con muy alta temperatura la concentración de estos gases absorbentes en el aire es suficientemente baja como para tomar en cuenta la radiación total absorbida.

El calor radiante viaja por el espacio hasta que encuentra un objeto opaco donde es absorbido y pasa el objeto por conducción. La fuerza del calor varía inversamente con el cuadrado de la distancia, sin embargo cuando el área de la fuente de calor es muy grande con relación a la distancia, las pequeñas variaciones en la distancia tienen un pequeño o nulo efecto sobre la severidad de la exposición. Otros factores afectan la transferencia del calor por radiación y son la composición, color y rugosidad de

la superficie. Superficies rugosas irradian y absorben mas calor que las superficies pulimentadas, es por esta razón que los almacenes deben tener un acabado liso como medida secundaria de protección. Una excepción de esta regla es el vidrio blanco esmaltado.

El calor radiante es grande en el rango del rojo e infra rojo y es generalmente similar a la luz del sol, pero difiere en las propiedades de absorción y refracción debido a la diferente longitud de onda. El calor es detenido por un cuerpo opaco, una lámina de metal o una hoja de papel ofrecen protección temporal del calor radiante, no así el vidrio por el cual el calor radiante pasa sin encontrar notoria resistencia.

La cantidad de calor radiante dada por una superficie es similar a la cuarta potencia de la temperatura absoluta\* de la superficie. Esto puede ser expresado como una ecuación.

$$Q_1 : Q_2 = (T_1 + 459)^4 : (T_2 + 459)^4$$

donde  $T_1$  y  $T_2$  son temperaturas Fahrenheit y  $Q_1$  y  $Q_2$  son cantidades de calor radiante a las temperaturas  $T_1$  y  $T_2$  respectivamente.

---

\* Temperatura absoluta es la temperatura medida en una escala que el 0 corresponde a  $-459^\circ\text{F}$  ó  $-273^\circ\text{C}$ .

**Ejemplo:** La temperatura de un incendio de pirita aumenta de 500°F a 600°F. Cuál es el incremento de radiación de calor?

Sustituyendo en la fórmula:

$$Q_2 : Q_1 = (600 + 459)^4 : (500 + 459)^4 = \left(\frac{1059}{959}\right)^4 = 1.11^4 \\ = 1.5 \text{ aproximadamente.}$$

Esto significa que al incrementarse la temperatura de 500°F a 600°F el calor radiante aumenta en un 50%.

Un cálculo similar nos muestra que al crecer la temperatura de 300°F a 1200°F, el incremento en la radiación es del orden del 2,180%.

El factor calor radiante es pues una función de la cuarta potencia de la temperatura absoluta, y muestra el peligro de ignición por el recalentamiento ocasionado por fuentes de calor de cualquier índole.

Un objeto expuesto al calor radiante absorbe pero también irradia calor cuya magnitud por unidad de area depende de la cuarta potencia de la temperatura absoluta.

El calor neto absorvido dependen de la diferencia de temperaturas entre la fuente de calor y el objeto expuesto y el incremento de temperatura del receptor es progresivamente más lento en razón de la menor diferencia de temperaturas.

### 1.7.3. Convección

Por convección el calor es transferido por un medio circulante, pudiendo ser un gas o un líquido. El calor generado en una labor que se incendia es distribuido por los niveles por el calentamiento del aire por eso es importante el bloqueo de este, en la forma más rápida posible. La circulación del aire caliente transfiere calor a los objetos por convección, y el calor es transferido del aire al objeto por conducción. El aire caliente se expande y se eleva y por esta razón el calor transferido por convección se manifiesta en una dirección ascendente.

### 1.8. PRODUCTOS DE COMBUSTION Y SUS EFECTOS SOBRE EL HOMBRE

Los productos de combustión pueden ser divididos en cuatro categorías:

1. Gases de combustión
2. Llama
3. Calor
4. Humos

Estos cuatro productos tienen una variedad de efectos fisiológicos sobre la gente lo más importante son las quemaduras y los efectos tóxicos por inhalación de ellos.

#### 1.8.1. Gases de Combustión

La mayor parte de los materiales combustibles contienen carbón en su composición cuando éste se enciende si la cantidad de

aire es suficiente se forma dióxido de carbono, pero si el aire es insuficiente se forma el peligroso monóxido de carbono. Dependiendo de la composición química del elemento combustible y la cantidad de oxígeno y la temperatura, se puede formar hidrógeno sulfurado, anhídrido sulfuroso, amoníaco, bióxido de nitrógeno, etc.

### Toxicidad de los Gases de Combustión

Las estadísticas no muestran con exactitud las causas de la muerte en los incendios, pero hay que reconocer que los decesos por inhalación de gases de combustión y aire caliente son más comunes que todas las otras causas combinadas que se generan en un incendio. Un estudio de los principales desastres causados por el fuego, revela que prácticamente, como primera causa, las pérdidas de vidas se deben a la inhalación de aire caliente, tóxicos y falta de oxígeno debido a su consumo por la combustión.

El monóxido de carbono es el más peligroso de los gases de combustión, pero en altas concentraciones el bióxido de carbono es también muy dañino.

Cuando dos o más gases o vapores están presentes, su efecto total es usualmente mayor que la suma de sus factores tomados por separado. Existen aspectos en este problema que incrementan los efectos de toxicidad, como es el aumento de la velocidad de respiración dado el esfuerzo por combatir el fuego, alteración nerviosa o exceso de inhalación del bióxido de carbono que también acelera el ritmo respiratorio.

Una breve presentación de los gases de combustión sería de interés para completar lo visto hasta el momento:

Monóxido de Carbono CO.

No obstante que no es el producto más tóxico de la combustión el monóxido de carbono es la principal causa de las muertes en los incendios y es siempre uno de los gases que se forma en las combustiones incontroladas. Bajo condiciones controladas con un exceso de oxígeno presente es posible oxidar todo el carbón presente, dando lugar al bióxido de carbono. En fuegos incontrolados, la concentración de oxígeno nunca es ideal para una completa oxidación, menos aún en minas subterráneas consecuentemente muchos de los carbones son sólo oxidados parcialmente, dando lugar al monóxido de carbono.

Siendo mas ligero que el aire, con una gravedad específica (GE) de 0.97 y dadas sus características de ser incoloro, inodoro o insípido es difícil detectarlo sin equipo especial.

En el país, la concentración máxima permisible es 50 ppm. ó el 0.005% y se le considera fatal a las 300 ppm. ó el 0.03%. Cuando una persona es expuesta a una concentración de 1.28% de monóxido de carbono en el aire, pierde el conocimiento despues de dos o tres aspiraciones y es probable que muera entre 1 a 3 minutos.

Su control es por ventilación es decir de diluirlo hasta concentraciones inofensivas, claro está que lo ideal es impedir su formación en el interior de las minas.

Bióxido de Carbono = CO<sub>2</sub>

Es usualmente generado en grandes cantidades en los incendios y al ser inhalados por el hombre sobre-estimulan el sistema respiratorio y puede desarrollarse una edema pulmonar especialmente cuando la cantidad de oxígeno es baja. Un 2% de CO<sub>2</sub> incrementan la velocidad y profundidad de las aspiraciones en un 50%, un 3% las aumentan en 100% permitiendo actuar a otros gases tóxicos presentes, en una forma más rápida. Publicaciones de la FNPA, informa que una concentración de 10% de CO<sub>2</sub> causan la muerte en muy pocos minutos.

Con una gravedad específica de 1.53, tiende a concentrarse al ras del suelo y no tiene olor ni color, siendo su sabor ligeramente ácido. Normalmente lo encontramos en la atmósfera en una concentración del orden del 0.05%, está regulado que en la minería nacional la CMP admisible es el 0.5%. Se le controla bastante bien con agua. y el problema geográficamente está circunscrito a la zona de Huancavelica (Recuperada, Julcani etc.), en cuyos estratos el CO<sub>2</sub> está incluido, y es necesario hacer taladros largos para detectar las bolsanadas en los esquistos rotos.

### Hidrógeno Sulfurado = H<sub>2</sub>S

Este es otro gas que puede formarse por combustiones incompletas de materiales orgánicos que contienen azufre. Pelo, lanas, pieles y carne producen hidrógeno sulfurado cuando se queman. Los cuerpos de las víctimas lo producen en los incendios, y una concentración de más de 0.1% es rápidamente fatal. El hidrógeno sulfurado es bien conocido por su típico olor a "huevos podridos". Sin embargo, este olor característico, es solo percibido a concentraciones menores al 0.2%, es por eso que es de vital importancia se tome la acción correspondiente al menor indicio de su típico olor, está demostrado también que en el término de un minuto la pituitaria se adormece y ya no se siente.

Presente una gravedad específica de 1.19, siendo incoloro y de sabor ácido. En minería ocurre rara vez, pero puede ser formado por la reacción de calizas con aguas ácidas y su C.M.P. es del orden de las 20 ppm. ó 0.002%.

### Anhidrido Sulfuroso SO<sub>2</sub>

Exposiciones en ambientes de SO<sub>2</sub> concentrado de 0.5 a 1% por cinco minutos puede producir la muerte. Dado que este gas es extremadamente irritante, incoloro y de sabor ácido, es posible - por su olor detectado a tiempo es posible escapar del lugar. Con una G.E. de 2.26 se concentra a raz del piso. Gracias a que es -

bastante soluble en agua, se le controla con atomizadores y ventilación. Normalmente se le encuentra como producto de tratamiento metalúrgico de minerales sulfurados (Oroya e Ilo). Incendios en minas piritosas lo producen en gran cantidad. El límite de aceptación para nuestro caso es una CMP de 5 ppm. ó el 0.0005%.

### Bioxido de Nitrógeno NO<sub>2</sub>

Es un gas extremadamente tóxico de sabor amargo y olor irritante. Se forma durante la descomposición y combustión de nitratos de celulosa y en fuegos que los que interviene el nitrato de amonio (ANFO) u otros nitratos inorgánicos. Puede ser fácilmente identificado en el incendio por su característico color marrón-rojizo. Se puede formar cuando el ácido nítrico es puesto en contacto con metales o materiales combustibles.

El bióxido de nitrógeno tiende a anestesiar la garganta por lo que su presencia puede no ser reconocida. Sus efectos tóxicos no siempre se comportan de la misma manera, personas expuestas pueden no mostrar de inmediato sus efectos pero pueden morir horas o días después de su exposición. Reportes de la NPPA, informan que de 10 a 40 ppm. (0.001 a 0.004%) son las máximas concentraciones toleradas en exposiciones largas, 62 ppm causan fuerte irritación a la garganta y 200 á 700 ppm. son rápidamente fatales después de cortas exposiciones. Por su G.E. de 1.59, se le encuentra a raz del piso y su C.M.P. es de 5 ppm. para nuestro país.

## Otros gases posibles de presentarse en las minas

### Nitrógeno N

Gas inerte, incoloro, inodoro e insípido con una G.E. de 0.97, es un gas asfixiante porque desplaza al oxígeno, se concentra por combustión ya que es el  $O_2$  el que se consume. La C.M.P. es del 80% su control se efectúa por Ventilación.

### Metano $CH_4$

Sumamente liviano, con una G.E. de 0.55, se concentra arriba de las labores, es inodoro, incoloro e insípido, se le ha fijado como C.M.P. un 0.5% y tiene la particularidad de ser explosivo cuando está en el rango del 5 al 15% con una máxima potencia al 9% (combustión perfecta), por encima del 15% o debajo del 5% se quema. Es generado por disparos, máquinas de combustión interna, madera que se pudre y existe en algunos estratos carboníferos como es el caso de Gollarisquisga que en 1954, 58 personas perdieron la vida por una explosión de metano. Ya que este gas es insoluble en agua se le controla con ventilación.

### Hidrógeno H

Es un gas explosivo, pero sin problemas en la minería peruana con una G.E. de 0.07 se concentra en el techo de la labor, pero cualquier pequeña brisa la diluye, se produce en aguas ácidas y muy poco en los disparos, es posible detectarlo en la sala de bate

rias. Totalmente inolora, incoloro e inapíido , explota a partir de concentraciones superiores al 4%. La C.M.P. es el 0.5%.

Aldehidos  $\begin{matrix} H & C & O \\ x & y & z \end{matrix}$

Son gases tóxicos e irritantes producidos principalmente por maquinas diesel, combustión del petróleo, aceites y grasas. Con una G.E. de 1.17, son incoloras y de sabor ácido. Su C.M.P. es 5 ppm. Una concentración del orden de las 153 a 240 ppm. constituye un peligro de muerte para una exposición de un período entre los 60 y 30 minutos respectivamente.

#### 1.8.2. Llama

La combustión de materiales en presencia de atmósferas normales ricas en oxígeno, es generalmente acompañadas por una luminosidad llamada flama o llama. Por esta razón, la llama es considerada un producto distinto a la combustión, y si durante esta , la llama es visible, el observador puede estar seguro que está ante un fuego. Existen luminosidades que no necesariamente equivalen a nuestro concepto de llama, como son los llamados fuegos de "San Telmo" que se originan por escape de electricidad estática o las luminosidades provenientes de los gases de antimonio. La llama está raramente separada por una apreciable distancia del material combustible. Calor, humo y gases, sin embargo, pueden desarrollarse en brasa sin evidencia de llama.

### 1.8.3. Calor

Es el elemento ~~producto de~~ la combustión y es responsable de la propagación de los incendios. Cuando se presenta en intensidades superiores a la tolerancia humana es fatal.

En menores intensidades, los efectos fisiológicos a su exposición son variados. Deshidratación, agotamiento, bloqueo del tracto respiratorio (edema) y quemaduras son los resultados inmediatos. El hombre no debe entrar en atmósferas que excedan de los 120°F a 130°F sin protección especial, tales como vestidos y máscaras. Un hombre que inhale, mas de una o dos veces un aire a esa temperatura se expone a serias consecuencias.

Está demostrado que a 111°F se necesitan 6 horas para producir quemaduras de segundo orden en la piel humana a 131°F, la quemadura se logra después de 20 segundos de exposición y a 158°F. el tiempo es de sólo de 1 segundo.

Es también importante anotar que a los 131°F (55°C) las proteínas transportadas en la sangre, comienzan a descomponerse, colapsando el sistema capilar.

El efecto de enfriamiento de la evaporación guarda una estrecha vinculación con la velocidad del aire, la humedad y temperatura ambiente, la cual será descrita posteriormente.

La muerte de una persona puede ser causada por una exposición excesiva al calor durante un suficiente período de tiempo (hipertermia) con visibles signos de quemaduras, iguales a las producidas por una llama abierta. Estas condiciones ocurren solamente cuando el cuerpo absorbe calor con mayor velocidad del que es capaz de disipar por evaporación del sudor, entonces sobreviene la pérdida del conocimiento particularmente por acción del sistema nervioso central y una baja de presión en el sistema sanguíneo.

### Humos

La composición de los gases de combustión dependen principalmente de la naturaleza del combustible, el rango de calor y la concentración de oxígeno cerca de la superficie combustionada.

Las pequeñas partículas de carbón y otras partículas desprendidos hacen los gases visibles. A este fenómeno se le denomina humo. Ciertos gases visibles (Ej.  $\text{NO}_2$ . vapor de agua) contribuyen a esta visibilidad.

Es cierto que existen condiciones por las cuales el material arde sin producir humo, pero en general este acompaña a la combustión.

Además de la temperatura y propiedades tóxicas de los humos, es importante tener presente que dependiente del calor, tamaño y cantidad de estas partículas es que la visión se ve bloquea-

da, pudiendo originar serios percances en adición a la combustión.

Normalmente todos los humos son altamente irritantes a la vista y al tracto respiratorio, alterando las demás facultades. Es por esta causa que las brigadas de rescate deben llevar máscaras de protección.

#### 1.9. INSUFICIENCIA DE OXIGENO

Cuando el oxígeno baja de su nivel usual, como consecuencia de una combustión o por falta de ventilación de cerca del 21% en el aire a un 15%, la tonicidad muscular disminuye (anoxia); entre 14% a 10% el hombre está todavía conciente, pero no totalmente despierto, entre el 10% al 6% el ser humano entra en coma, pero puede ser revivido si es rápidamente tratado con oxígeno, al incrementarse la demanda de oxígeno durante períodos de ejercicios violentos, pueden producirse síntomas de deficiencia de oxígeno en concentraciones más altas al 14%. Dentro del equipo normal de las cuadrillas de salvataje se lleva equipo de oxígeno siendo el más recomendable el denominado Resucitador con presión, positiva-negativa, que introduce el oxígeno y extrae el  $CO_2$ , de los pulmones en una forma cíclica y automática, verdaderamente esencial para casos de pérdida de conocimiento.

## C A P I T U L O    I I

### TEORIA DEL CONTROL DE FUEGOS

La forma de controlar un fuego es necesariamente detener la rápida reacción de oxidación que se produce. Cuatro métodos - pueden ser aplicados:

- Enfriamiento
- Separación del agente oxidante del combustible
- Dilución o extracción del combustible
- Extinción química

Normalmente se emplea uno, o la combinación de dos o más métodos. Existen otros sistemas como es el caso del ultrasónico, que se encuentra en estado de teoría, sin conseguir su aplicación práctica.

#### 2.1. EXTINCIÓN POR ENFRIAMIENTO

Para lograr la extinción de un fuego por enfriamiento es sólo necesario absorber una pequeña proporción del calor total producido por la combustión. La extinción ocurre cuando la superficie del material que se quema es enfriada a un punto en que cesa el desprendimiento de vapores inflamables que mantienen la combustión. Este punto es necesariamente algo menor que el punto de ignición.

La eficiencia de un agente extingüente como medio refrigerante, depende de su calor específico y de su calor latente. Una de las razones de la efectividad del agua como agente extintor es que su calor específico y latente son más altos que los de otros agentes extingüentes.

El calor es transportado desde el fuego por radiación, conducción o convección y es absorbido por el agente refrigerante,

Cuando el agua es aplicada bajo condiciones de laboratorio, el extingüimiento es asegurado con el uso de una cantidad mucho menor de la que es teóricamente necesario para absorber todo el calor producido en un fuego, pero estas condiciones son raras en la práctica.

Es normal proceder a ventilar un fuego como un medio de control. De esta forma los productos de combustión, incluyendo el calor son removidos del área combústionada, alejando de esta forma el peligro de una explosión por acumulación de vapores combústibles. En algunos casos, la ventilación puede intensificar el fuego por añadir oxígeno a la reacción, sin embargo está en función de este hecho la magnitud del fuego, el caudal y la velocidad del aire.

Los gases inertes extingüen los fuegos, por que ellos diluyen o desplazan el agente oxidante, separando físicamente el-

combustible del oxígeno. Los polvos inertes y en alguna medida - los gases inertes tienen efectos refrigerantes por la absorción - de calor que realizan.

## 2.2. EXTINCIÓN POR SEPARACIÓN DEL AGENTE OXIDANTE DEL COMBUSTIBLE

Este tipo de extinción es realizado por cubrimiento o sofocación del fuego. El bióxido de Carbono, la espuma y los líquidos vaporizantes, extinguen en principio por este método. Una capa de bióxido de carbono, espuma, tetracloruro de carbono y otros líquidos vaporizantes no combustibles, actúan sobre la superficie del combustible, desplazando el oxígeno necesario para la reacción en cadena logrando así su sofocación.

Es conveniente lograr que permanezca dicha capa o manto - un tiempo suficiente para que el material no pueda auto-encenderse por la temperatura adquirida. Estos agentes extingüentes presentan valores limitados sobre fuegos provenientes de maderas y otras sustancias combustibles ordinarias porque la capa generalmente no pueden mantenerse en toda la extensión de la combustión. La extinción por separación no puede ser aplicado en materiales que - contienen su propio oxígeno adicional, como es el caso del nitrato de celulosa.

Este principio de la separación del agente oxidante del combustible es usado por la ingeniería de prevención para evitar-

fuegos y explosiones en vapores inflamables, polvos y otros materiales altamente combustibles, con el reemplazamiento del aire normal (con contenido del 21% de oxígeno) por gases inertes, creando atmósferas que no soportan la combustión. Su principal función es prevenir la formación de mezclas explosivas aire-vapor en espacios cerrados. La reducción del contenido de oxígeno en el aire, necesariamente previene fuegos y explosiones, pero este rango de efectividad está en función del gas inerte a emplear. La diferencia de efectividad se explica por la variación de un gas a otro de su capacidad térmica molal (es el calor específico de la sustancia multiplicado por su peso molecular). Los gases inertes con alta capacidad térmica molal son mas efectivos. Así el tetracloruro de carbono 20.3; bióxido de carbono 8.75; nitrógeno-6.93 y helio 5.0. El  $\text{CO}_2$  y el  $\text{N}_2$  son los más comunes para volúmenes pequeños, dado que su transporte comercial es por botellas de alta presión.

Industrialmente y sólo a nivel información, se expone que el método común para obtener gases inertes es por la combustión de hidrocarburos o sus derivados. La combustión de estos productos generalmente contienen 9 a 12% de  $\text{CO}_2$ , algo de CO y cerca del 85% de  $\text{N}_2$ . El oxígeno está presente en un rango del 2 al 8% si se empleó un hidrocarburo líquido y menos de 1% si el combustible fue un gas. El empleo de purificadores y enfriados es necesario.

La oxidación catalítica del amoniaco con el aire produce alta pureza de nitrógeno con sólo trazas de bióxido de carbono, hidrógeno, oxígeno y residuos amoniacales. La licuefacción del aire con el subsiguiente fraccionamiento produce nitrógeno.

El siguiente cuadro muestra las concentraciones máximas-permisibles de oxígeno para prevenir la ignición en combustibles, usando carbónico o nitrógeno como gas inerte.

**MAXIMA CONCENTRACION DE OXIGENO POR VOLUMEN PARA PREVENIR IGNICIONES USANDO CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> COMO INERTES, PARA SU ALMACENAMIENTO**

Producto	Forma	% de Oxígeno (O <sub>2</sub> ) máximo por volumen	
		CO <sub>2</sub> - Aire	Nitrógeno-Aire
Aluminio	Polvo	3	9
Antimonio	Polvo	16	-
Bencina	Gas	14	11
Estaño	Polvo	16	-
Gasolina	Gas	14	11.5
Hidrógeno	Gas	6	5
Kerosene	Gas	14	11
Magnesio	Polvo	3	2
Propano	Gas	14	11.5
Manganeso	Polvo	15	-
Torio	Polvo	0	2.5
Uranio	Polvo	0	1.5
Vanadio	Polvo	13	-
Zinc	Polvo	10	10
Zirconio	Polvo	11	8

**NOTA:**

- a) El guión (-) significa ausencia de información
- b) En el caso de los gases las máximas concentraciones eg tan dadas para condiciones normales. Se desea efec - tuar trabajos en caliente. (corte, soldadura, etc) este factor tiene que disminuir a la mitad ó menos según sea el caso.
- c) Polvos de torio y uranio pueden encenderse al ser pulverizados en la atmósfera de  $CO_2$ .
- d) Trabajos de estampe y pulverizaciones, que generan una elevación de temperatura, pueden inflamar el polvo de a luminio, magnesio, Zinc, Torio, Uranio y Zirconio aún en presencia de  $CO_2$ .
- e) Visibles incandescencias se observaron en atmósferas - de nitrógeno al pulverizarse magnesio, estaño, uranio y zirconio.

**2.3. EXTINCIÓN POR DILUCIÓN O REMOCIÓN DEL COMBUSTIBLE**

El rango de propagación de la llama dependen de la relación combustible-aire, temperatura y presión. La posición de la llama sobre la zona combustible puede ser localizada donde la velocidad de la mezcla combustible-aire que está saliendo de la fuente impulsadora del combustible iguala la razón de propagación de la llama. Cuando la razón de la mezcla varía, el rango de propagación de la llama también cambia, acercándose o alejándose de la fuente de combustible. Un exceso de aire tiene el efecto de diluir la concentración de combustible y al mismo tiempo incrementa la velocidad de la mezcla alejándola de la fuente. La llama se a pagaré cuando la mezcla sea diluída a un límite menor a la reque-

rida para la ~~propagación~~ de la flama o si se aleja la llama de la fuente a una velocidad mayor de la necesaria para su propagación. Si las condiciones de temperatura cerca de la fuente de combustible no son favorables para la re-ignición la llama permanecerá extinguida.

El método recomendado para la extinción de gases inflamados es detener el flujo de gas.

La dilución del combustible por una ráfaga de aire, puede resultar en la extinción de la llama (Ejemplo soplar un fósforo), al disturbar el equilibrio en la zona de combustión, entre el suministro de combustible y la cantidad de aire aportada hacia la zona de reacción. Esto sucede al aprovechar la gran velocidad que es posible darle al aire de forma tal que supere la velocidad de propagación. Es necesario informar, que este método tiene pequeñas aplicaciones prácticas con respecto a fuegos sumamente concentrados en área y magnitud sin embargo este es el principio usado sobre grandes fuegos, especialmente los que involucran pozos petrolíferos donde una violenta ráfaga de aire producida por un explosivo de alto poder, logra extinguir las llamas. Es cierto también que la onda sonora (vibración) producida por la detonación también interviene en menor proporción en el logro de la extinción. Este punto se demuestra con el experimento de apagar una llama, con el sonido de un violín.

El aire es considerado como un fluido libre, con una ~~velocidad~~ velocidad muy baja produciendo violentos efectos cuando se mueve a alta velocidad o un objeto se mueve en él rápidamente.

Estos efectos son más pronunciados cuando se atraviesa - la llamada barrera del sonido (1,080 pies por segundo a presión - atmosférica). La velocidad del sonido varía con los cambios de - presión, cuando la presión es mayor, la presión atmosférica alta, de esta manera permite sumar su efecto acústico vibratorio, al rá - pido desplazamiento del aire en el caso de usar explosivos de al - to poder para la extinción de pozos petroleros en llamas, mencio - nado anteriormente.

En el caso de incendios de rumas de material combustible (postes, productos ensacados etc) el único método práctico de ex - tinción total es la remoción del material combustible que la in - tensidad del fuego permita retirar, ya que es prácticamente impo - sible llegar al corazón del fuego (brasa) con productos extinguien - tes. El bloqueo del intersticio o boquete producido en un tanque de gases combustibles, por donde se alimenta la llama es otra de las aplicaciones del método.

#### 2.4. EXTINCION QUIMICA

Hace algún tiempo ha sido reconocida la efectividad de ciertos hidrocarburos halogenados y algunas sales inorgánicas, pa

ra la extinción de fuegos, pero todavía no se ha profundizado mucho en el conocimiento de algunas de sus propiedades como agentes extintores.

Cuando el polvo químico seco (con base de bicarbonato de sodio) fué producido inicialmente como un agente extinguyente, dado el conocimiento que se tenía de que formaba anhídrido carbónico al calentarlo, este concepto inicial se descartó cuando se demostró que el polvo químico es dos veces más efectivo que una cantidad igual de anhídrido carbónico.

Recientes investigaciones sobre la Teoría de Extinción Química, reportan nuevos atributos a los hidrocarburos halogenados y a las sales inorgánicas, por cuanto ambas reaccionan con productos intermedios de la reacción de combustión cortando la cadena reactiva lo cual detiene el proceso apagando la llama.

La parte activa de la molécula de los hidrocarburos halogenados es el átomo halógeno, el cual rompe la cadena al combinarse con productos intermedios de la combustión. La efectividad de los halógenos es decreciente en el siguiente orden:

iodo, bromo, cloro, fluor

## C A P I T U L O    I I I

### AGENTES IGNIFUGOS

En este capítulo se presentan los agentes extingüentes - que se usan en la actualidad ellos son:

Agua, gas carbónico, polvo químico, espuma química, agentes hologe nados y agentes para metales combustibles.

#### 3.1. AGUA

Por cientos de años el principal agente refrigerante ha sido el agua y es en la actualidad el sistema convencional para la extinción de la mayoría de fuegos.

Existe un factor con efectos extingüentes que acompaña a la acción refrigerante del agua: al convertirse de líquido a vapor el volumen a presión atmosférica, se incrementa en cerca de 1,700- veces. Este gran volumen de vapor de agua desplaza o excluye un volumen igual de aire que circunda al fuego, reduciendo la canti - dad de oxígeno en el área.

Un galón de agua medido a una temperatura de 16°C, produ cirá aproximadamente 223 pies cúbicos de vapor. Si durante el tra bajo de ataque se obtuviera un rendimiento de tan sólo el 90%, es to equivaldría a una generación aproximada de 200 pies cúbicos de

De estudios de sales inorgánicas, con relación al fuego se demuestra que las sales de metales alcalis son las más efectivas. Las más comunes de las sales usadas son las de sodio y potasio.

Este método de extinción química es ampliamente desarrollado en el siguiente capítulo, bajo el título de Agentes Halogenados.

vapor por cada galón de agua consumida. Este cálculo es básico, para el profesional que encara preventivamente el problema de incendio en un área confinada. El volumen de agua almacenada, debe ser necesariamente mayor que 1/200 del volumen de aire libre que cubre la zona del material combustible.

Obviamente al aplicar agua en forma de hielo o nieve se utiliza al máximo la acción refrigerante del agua, pero por razones prácticas, el mas alto efecto extinguyente se obtiene con el cambio de estado líquido a gas.

El proceso por el cual el fuego de variados materiales es extinguido por agua en forma de lluvia finamente pulverizada, depende de cierto número de factores imposibles de calcular sobre una base teórica pero los principios básicos constituyen guías importantes para la discusión del tipo de agente extintor a usar.

Estáticamente los factores de la acción refrigerante del agua en forma de gotas son los siguientes:

- a) El rango del calor transferido es proporcional a la superficie del líquido (dada una cantidad de agua, la superficie es incrementada con su conversión a gotas).
- b) El rango del calor transferido depende de la diferencia de temperaturas entre el agua y el material en combustión.

- c) El rango de calor transferido depende del vapor contenido en el aire en las inmediaciones de las gotas.
- d) El rango de calor transferido depende de la forma de la gota. Esférica es mejor.

Estos cuatro factores son importantes cuando la gota y el aire circundante están estacionarios entre sí, pero un incremento en la velocidad relativa de la gota tiende a incrementar la evaporación.

La gota puede alargarse si tiene la suficiente energía cinética, ya que en contraposición tiene la resistencia del aire e interviene la fuerza de la gravedad. Es necesario tener en cuenta las fuertes corrientes ascendentes de salida que se generan a causa del tiro térmico.

Se sabe que el diámetro óptimo para la gota de agua es de 0.35 mm y mejores resultados se obtienen si el tamaño es uniforme, es muy difícil lograr esto pero se acepta como razonable lograr diámetros entre 0.1 mm y 1 mm.

La extinción puede ocurrir solamente cuando el agua es aplicado en rangos necesarios para enfriar o sofocar el fuego; a mayor intensidad de éste se requiere mayores cantidades de agua y es posible necesitar continuar aplicandola por largo tiempo ,

especialmente cuando existe la posibilidad de re-ignición. La dirección de aplicación especialmente en finas gotas, es importante ya que se puede estar atacando el fuego, con alta dispersión y baja velocidad que pueda ser detenida por la corriente térmica ascendente haciendo inefectiva la acción emprendida. El enfriamiento y la generación de vapor es más efectiva en el punto donde la combustión está ocurriendo, es por eso que se insiste tanto en que el chorro se dirija a la base del fuego.

#### Extinción por Sofocamiento

Si logramos generar la suficiente cantidad de vapor (dependen de la cantidad de agua, tamaño de la partícula y temperatura del fuego) podemos desplazar o excluir, tal como se explicó anteriormente un gran volumen de aire reduciendo la cantidad de oxígeno del aire y el fuego en ciertos tipos de materiales puede ser sofocado. El sofocamiento es más efectivo en áreas confinadas, como es el caso de edificaciones o labores subterráneas.

El proceso de absorción de calor por el vapor termina cuando este comienza a condensarse con el cambio de estado, el calor se desprende del vapor. Esta condición es evidente por la formación de nubes visibles de vapor de agua.

En casos donde el oxígeno es liberado por el material mismo, por la temperatura en que se halla. La sofocación no es un factor de extinción.

### Extinción por emulsificación

Cuando líquidos inmiscibles son agitados juntos, un líquido puede ser dispersado por el otro en forma de gotas, formando una emulsión. Cuando el agua es aplicada a ciertos líquidos inflamables viscosos, la extinción puede ocurrir por el proceso de emulsificación, dado el efecto de hacer la superficie del material temporalmente incombustible. En algunos líquidos, como en el caso del petróleo es temporal y se debe tener presente que la emulsificación solo dura durante la aplicación del agua. Con otro líquido más viscoso, como el petróleo N° 6, la emulsificación es más persistente en tiempo dando mayor seguridad que no habrá una re-ignición. Para obtener el efecto emulsificante en un chorro sólido es necesario darle agitación a la superficie del material.

### Extinción por dilución

Cuando el material inflamable es soluble en agua, puede ser extinguido por dilución. El porcentaje de dilución necesaria para conseguir efectos extinguentes varía con el material, el volumen de agua y el tiempo necesario. Así en un fuego que envuelve a alcoholes metílico o etílico la técnica de dilución es aplicable si podemos conseguir una adecuada mixtura de los dos líquidos. En tanques la adición de agua, intentado el método de dilución es a veces peligrosa, ya que el volumen necesario

que de agua hay que ~~agregar~~ ~~produce~~ ~~el~~ ~~rebalse~~ del tanque provocando el ~~derrame~~ del combustible en llamas. La aplicación del ~~chorro~~ sólido puede producir salpicaduras que propagan el problema del área combustionada.

### 3.2. LIMITACIONES DEL AGUA COMO AGENTE EXTINTOR

El agua, pese a ser el más común de los agentes extinguentes, tiene ciertas limitaciones cuando se le usa en ciertos tipos de fuego. Varias propiedades la limitan como agente extintor y estas son: Tensión superficial, reacción con ciertos materiales, conductividad eléctrica, temperatura de congelamiento, viscosidad, baja opacidad y baja reflectividad. En adición a estas limitaciones el agua puede ser ineficiente como agente activo sobre líquidos inflamables de bajo punto de ignición.

#### Tensión Superficial

La alta tensión superficial del agua, baja sus posibilidades de penetrar y humedecer materiales empacados, fardos o combustibles apilados. La inmersión del combustible en agua, es raramente práctica y cuando un fuego origina cavidades en una masa combustible en algunos casos es deseable el desmantelamiento o desmembramiento de la masa y aplicar agua en las partes interiores del material o emplear un agente aditivo humectante que baje la tensión superficial del agua y de esta manera facilitar la extinción.

### Reacción con Ciertos Materiales

Como regla general el agua no puede ser usada sobre materiales como carburos, peróxidos, sodio metálico, polvos de magnesio etc., por que generan gases inflamables que aumentan la temperatura y al poco tiempo el hidrógeno se encuentra relativamente en estado libre y la combustión se realiza con pequeñas explosiones que incrementan la temperatura del material.

En el caso del Zirconio pulverizado es más difícil encenderlo cuando esta húmedo que cuando está seco. Sin embargo una vez que se enciende el polvo de Zirconio húmedo arde mucho más violentamente que cuando está seco. Si el polvo contiene entre el 5 al 10% de agua, está en su estado más peligroso.

Limitadas cantidades de agua incrementan la intensidad de la combustión en el uranio y torio naturales y contaminan la calidad del producto antes del fuego. La radioactividad del uranio natural es extremadamente baja (el uranio es en realidad un metal venenoso, y es considerado menos tóxico que el plomo).

El uso del agua sobre uranio o plutonio enriquecidos - (Materiales fusionables) es prohibido en general. En general el plutonio es considerado mucho más peligroso que el uranio. Recientes trabajos en Inglaterra, demuestran que una mezcla de cloruro de Bario ( $Ba Cl_2$ ) Cloruro de Sodio ( $Na Cl$ ) y cloruro de po-

tasio (K Cl) es efectiva para fuego de plutonio.

### Conductividad

Dado que el agua en su estado natural contiene impurezas que la hacen conductiva, el hecho de aplicar agua en fuegos involucrados en equipos eléctricos vivos, no es generalmente una buena práctica, especialmente si es alto el voltaje del equipo. Ordinariamente existe pequeños peligros para el uso de agua en equipos de menos de 600 volts cuando se usa equipo especial pero el hecho de usar guantes de jebe corriente, no siempre evita el choque eléctrico, dado que éstos tienen la suficiente cantidad de carbón como para permitir el paso de la corriente eléctrica.

Las principales variables que intervienen al tratar de preveer los efectos al entrar en contacto con cargas eléctricas son:

- a) El voltaje del flujo de corriente
- b) El grado de desmembramiento del chorro de agua al salir por el pitón de la manguera, o por la presión de salida o por la velocidad del viento en la zona.

Este desmembramiento influye en la conductividad en virtud de los espacios de aire que se forman entre las gotas.

- c) La pureza del agua y su correspondiente resistividad
- d) La longitud y área de la sección del chorro de agua

e) La resistencia a tierra a través del cuerpo de una persona, y puede ser influenciada por su localización (piso, húmedo o seco) la humedad de su piel, la cantidad de corriente que su cuerpo puede soportar, el tiempo de exposición a la corriente y otros factores.

f) La resistencia a tierra a través de la manguera

Varias autoridades consideran que una corriente de 50 miliamperios, pasando a través del cuerpo humano es aproximadamente el límite en que la corriente puede causar fatalidades. Sin embargo, la susceptibilidad de diferentes individuos a los choques eléctricos varia considerablemente y algunos son particularmente sensibles.

#### Temperatura de Congelamiento

El agua se congela de 0°C ó 32°F y está situación la limita en climas o que las condiciones existentes son por debajo del punto de congelamiento.

El congelamiento de un tanque de agua, no toma lugar instantáneamente y depende de la cantidad de agua, su temperatura y la temperatura del aire.

El más común de los depresores del punto de congelamiento es Cloruro de Calcio (Ca Cl<sub>2</sub>). La solución se puede preparar con los dos tipos comerciales: El regular (77% de Ca Cl<sub>2</sub>) ó el concentrado (94% de Ca Cl<sub>2</sub>).

El cloruro de calcio, es resistente a la evaporación y es preferible al cloruro de sodio, por no ser tan corrosivo como este. Podría darse el caso que este anticongelante resulte corrosivo para alguno de los metales en el circuito, en este caso es necesario adicionarse un inhibidor de corrosión. Normalmente se le adiciona un 0.5% de cromato de sodio por peso al  $\text{Ca Cl}_2$  usado (Ejemplo 1/2 libra de cromato de sodio por cada 100 lbs. de  $\text{Ca Cl}_2$  del tipo regular ó por cada 80 lbs. del  $\text{Ca Cl}_2$  - concentrado). Si es grande el volumen de agua a proteger contra el enfriamiento, es probable que sea necesario utilizar también productos anticorrosivos.

Lo más económico es adquirir bicromato de sodio y convertirlo a cromato de sodio por adición de soda caústica. Se debe añadir 27 libras de soda caústica por cada 100 lbs. de bicromato de sodio.

Se presenta una tabla ,en la que se indica la cantidad en libras de  $\text{Ca Cl}_2$  a usar para mantener el punto de congelación a la temperatura requerida.

**El Ca Cl<sub>2</sub> como depresor del punto de congelamiento.**

<u>Punto de Congelamiento OF</u>	<u>Libras de Ca Cl<sub>2</sub> al 77% por galo- nes de agua.</u>	<u>Libras de Ca Cl<sub>2</sub> al 94% por galones de agua</u>
30	0.26	0.21
25	0.91	0.73
20	1.46	1.11
15	1.88	1.46
10	2.24	1.74
5	2.55	1.97
0	2.83	2.17
-5	3.14	2.38
-10	3.38	2.55
-15	3.64	2.74
-20	3.89	2.90
-25	4.13	3.06
-30	4.37	3.21
-35	4.58	3.34
-40	4.73	3.44
-45	4.86	3.53
-50	4.94	3.59
-55	5.02	3.64
-59.8	5.10	3.69
-50	5.23	3.78
-40	5.39	3.87
-30	5.56	4.00

**NOTA:** El punto más bajo de congelación obtenido por el empleo del Ca Cl<sub>2</sub> es - 59.8°F.

## Viscosidad

Estudios sobre la eficiencia de extinción del agua, indican pocas limitaciones adicionales, pero es importante tenerlas en cuenta con el fin de neutralizarlas, para obtener un mejor agente extintor. El agua tiene una viscosidad baja, y cuando se aplica a masas en combustión, tiende a correr rápidamente y disminuye su poder penetrante y cubridor del área.

El uso del agua penetrante está creciendo rápidamente. El aditivo químico, llamado agente humectante al ser mezclado con el agua, reduce o quebranta la tensión superficial de modo que el líquido puede penetrar rápidamente y profundamente en la masa en llamas y extenderse por la superficie del material. Por esta razón, el agua penetrante, además de llegar más rápidamente al foco que el agua ordinaria, permite un ahorro de agua en áreas de escasez o que su almacenamiento es problemático.

El agente humectante se mezcla en proporción de 1% con respecto al agua y no existe en el mercado nacional dado el desconocimiento de sus condiciones. Actualmente y por pruebas en el campo, es posible sustituirlo por un 2% de detergente doméstico y son palpables los resultados obtenidos.

El efecto penetrante de este humectante puede demostrarse de la siguiente forma: Una bola de algodón colocada en agua ordinaria flotará en esta por mucho tiempo.

Otra bola de algodón, colocada en una solución de agua penetrante, se sumergirá y hundirá casi inmediatamente.

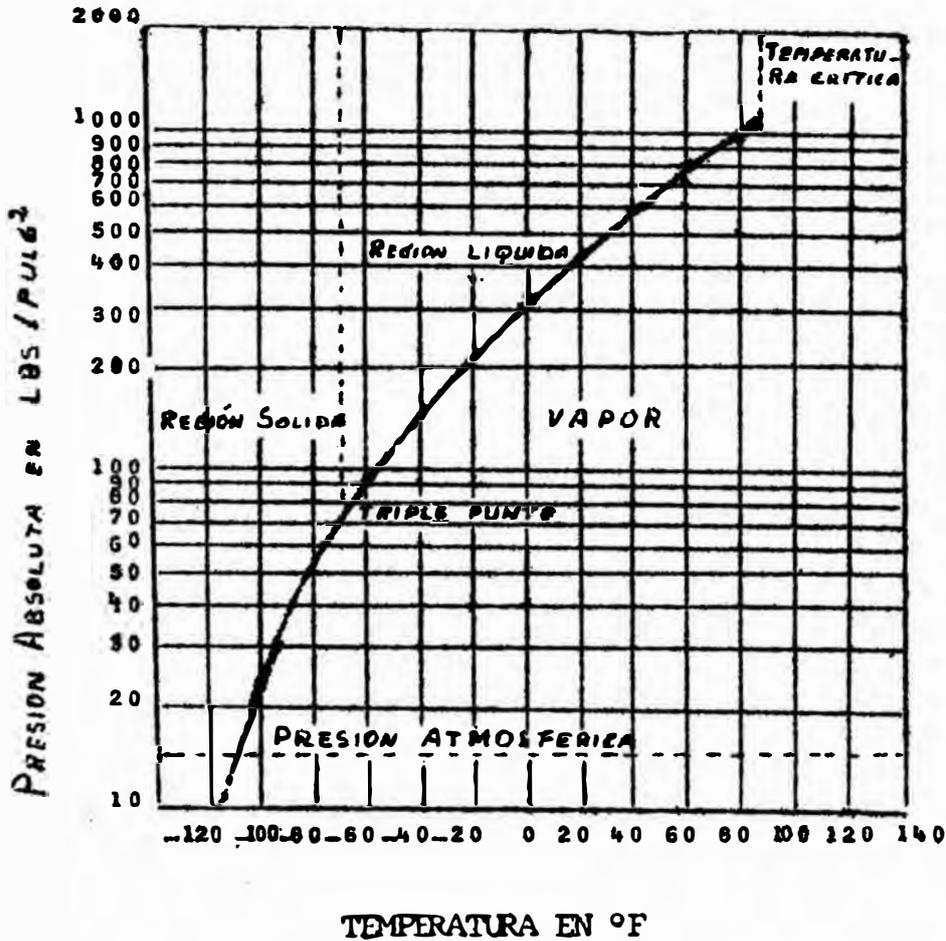
### Opacidad y Reflectividad

Distintas pruebas efectuadas, con agua pulverizada sobre láminas de metal, expuestas al calor radiante de una combustión de gasolina, indican que cuando se aplica una fina lluvia sobre la lámina sometida al calor, la temperatura del metal se mantuvo por más tiempo por debajo de los límites de peligro señalados.

Sin embargo cuando se creó una cortina de agua, que sin entrar en contacto con la lámina de metal se interponía entre el fuego y este, la temperatura sobre el metal en el mismo tiempo, fue de 3 a 4 veces mayores que cuando el agua estaba en contacto con él. Con este se demuestra que dada la baja opacidad del agua esta pone muy pequeña capacidad para prevenir el pasaje del calor radiante, luego su reflectividad es muy baja, puesto que la temperatura casi no varía cuando se usa cortina de agua o sin ella.

### 3.3. BIOXIDO DE CARBONO

Bajo condiciones normales el bióxido de carbono ( $CO_2$ ) es un gas. Es fácilmente licuable por compresión y enfriamiento, y con mayor presión es posible convertirlo en un sólido. Los efectos de cambios de temperatura y presión en forma gráfica se muestran en el siguiente cuadro:



Por ejemplo, sobre la línea de la curva entre el triple punto - (75 psi y  $-69.9^{\circ}\text{F}$ ) y la temperatura crítica ( $87.8^{\circ}\text{F}$ ) el bióxido de carbono encerrado en un recipiente es mitad líquido y mitad gas. La presión se incrementa, la densidad del vapor se incrementa y como la temperatura crece, el volumen del líquido y su densidad decrecen. A  $87.8^{\circ}\text{F}$  (temperatura crítica), la densidad del líquido y la del vapor o gas es la misma.

En temperaturas mayores a la crítica, el  $\text{CO}_2$  se presenta enteramente como un gas, independiente de la presión.

El  $\text{CO}_2$  sólido (hielo seco) es obtenido a temperaturas de  $-110^\circ\text{F}$ . Asumiendo que este gas sea almacenado como un líquido, su descarga a la atmósfera, origina una expansión de líquido a gas. El calor absorbido durante esta vaporización enfría el líquido remanente a  $-110^\circ\text{F}$  y produce al salir una lluvia de finas-partículas de hielo seco, que es característica de este producto.

### Densidad

La densidad relativa del gas carbónico comparada con el aire seco a  $32^\circ\text{F}$  y 1 atmósfera de presión es 1.529, en otras palabras el  $\text{CO}_2$ , es una vez y media veces más pesado que el aire y es por esta razón que desplaza al aire y se puede mantener como-atmósfera sobre determinadas superficies.

La densidad del líquido a  $2^\circ\text{F}$  es de 63.4 lbs/pie<sup>3</sup> y a  $80^\circ$  pesa 42.2 Lbs/pie<sup>3</sup>.

### Toxicidad

Pese a que el  $\text{CO}_2$  es medianamente tóxico, puede producir estados de inconciencia y aun la muerte cuando se presenta con -centrado. Su acción se debe más a la sofocación que su efecto -tóxico. Una concentración del orden del 9% puede causar la inconciencia en pocos minutos. Una concentración del 20% a 30% -causa la muerte entre 20 a 30 minutos a menos que la víctima sea retirada hacia el aire fresco. El recobrarse con respiración ag

tificial es esencialmente rápido, dado que la tendencia del CO<sub>2</sub>, es estimular la respiración.

Mayor información se encuentra en el Capítulo I, bajo el título de toxicidad de los gases de Combustión (1.8.1.)

### Comportamiento a baja temperatura

No es necesaria protección anti-congelante para el CO<sub>2</sub>, en clima de temperaturas sobre 32°F, para cilindros y tanques, que es la forma común de venta. Sin embargo, las bajas temperaturas, reducen la capacidad de descarga de los cilindros de alta presión. Por esta razón, los cilindros de alta presión para CO<sub>2</sub>, no deben ser usados, en áreas cuya temperatura sea menor de 32°F, sin antes agregarle calor externo, para elevar la temperatura interior.

A veces es necesario utilizar un expelente tal como el nitrógeno para aumentar la capacidad de descarga a bajas temperaturas.

### Propiedades extingüentes

El bioxido de Carbono es efectivo como un agente primario por que reduce el contenido de oxígeno, a un punto donde no puede continuar la combustión, y en condiciones normales de aplicación el efecto refrigerante es efectivo.

### Extinción por Sofocamiento

El  $\text{CO}_2$  es comercializado bajo presión como un líquido y cuando se descarga en un área de fuego es principalmente un gas. En general, una libra de  $\text{CO}_2$ , en estado líquido, debe ser considerada como productora de 8 pies cúbicos de gas a presión atmosférica, este gas desplaza o diluye el oxígeno en el área y apaga la llama. Como información se conoce que para detener la combustión en gasolina y kerosene es necesario tener un 28% como mínimo de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera del proceso. El acetileno necesita de un 55% de  $\text{CO}_2$  y el del hidrógeno 62% como mínimo.

### Extinción por Enfriamiento

La rápida expansión del líquido a gas cuando el  $\text{CO}_2$  es liberado del tanque o cilindro, produce un efecto refrigerante y convierte parte del  $\text{CO}_2$  en nieve. Esta nieve a temperatura máxima de  $110^\circ\text{F}$ , rápidamente tiene a transformarse en gas absorbiendo calor del material en combustión y de la atmósfera circundante. La cantidad de calor absorbida es sin embargo relativamente pequeña cuando se le compara con el agua. La nieve de  $\text{CO}_2$ , tiene un calor latente de 246.4 BTU por libra, pero solamente una parte del  $\text{CO}_2$  es convertido en nieve, el efecto total refrigerante del gas y la nieve es considerablemente menor.

Cuando el líquido es abastecido a  $80^\circ\text{F}$  aproximadamente el 25% es convertido en nieve durante la descarga, dando un efecto -

refrigerante de cerca de 120 BTU por libra.

Cuando el  $\text{CO}_2$  se suministra a  $0^\circ\text{F}$ , aproximadamente el 45% es convertido en nieve durante la descarga dando un total de efecto de enfriamiento de cerca de 170 BTU por libra.

El agua tiene un efecto refrigerante de 1,180 BTU por libra, asumiendo que el agua se evapora totalmente en el area de -- combustión.

### 3.4. LIMITACIONES DEL $\text{CO}_2$ COMO AGENTE EXTINGUIENTE

Superficies calientes y brasas.

Fuegos aparentemente extinguidos por el bióxido de carbono, pueden reiniciar su combustión después que la atmósfera de sofocamiento creada haya sido disipada, si las brasas o las superficies metálicas calientes permanecen en el area. En muchos casos, puede ser necesario reducir el contenido de oxígeno en cerca del 6% y mantener esta concentración por un período de tiempo para evitar la reignición. A veces es necesario horas y aun días para enfriar materiales carbonosos y durante este tiempo la concentración de  $\text{CO}_2$  debe ser mantenida.

#### Oxígeno Contenido en Materiales

El bióxido de carbono no es efectivo como agente extinguiente en fuegos que involucran sustancias que contienen su propio oxígeno, como es el caso del nitrato de celulosa.

### Reactivos Químicos

Fuegos envolventes a metales reaccionantes, como el sodio potasio, magnesio, titanio y zirconio, no pueden ser extinguidos con el bioxido de carbono. Estos metales descomponen el  $CO_2$ .

#### 3.5. POLVO QUIMICO

El término polvo químico se refiere a una base de bicarbonato de sodio como producto extinguyente, que es usado en principio para extinción de fuegos de la clase B y C.

El polvo químico multipropósito, se refiere a una base de fosfato amónico y sirve para fuegos de las clases A, B y C. Los términos polvos químicos (P.Q) y polvo químico multipropósito (P.Q.M.) no deben ser confundido con el polvo seco (P.S) que es el término usado para identificar agentes extingyentes primarios para uso en metales combustibles.

El P.Q. es ampliamente conocido por su eficiencia en la extinción de líquidos inflamables, y puede ser usado en algunos tipos de fuego que involucran equipos eléctricos y tiene serias limitaciones para fuego sobre combustibles sólidos comunes. El P.Q.M. puede ser usado sobre materiales combustibles sólidos, líquidos inflamables y equipo eléctrico.

### Propiedades Físicas y Químicas

El polvo químico corriente, usado y comercializado, es una mezcla de bicarbonato de sodio con varios aditivos que le comunican varias características propias. El más común de los aditivos son los estearatos metálicos y el fosfato tricalcico. Son usados principalmente para prevenir el humedecimiento y su consecuente aglutivamiento del bicarbonato de sodio. Un descubrimiento relativamente nuevo indica que se puede conseguir un mejor rechazo de la humedad mezclado el polvo químico con silicona y de esta forma se evita las recargas anuales.

Investigaciones posteriores demuestran que P.Q. con base de bicarbonato de potasio es mas eficiente que aquel que usa sodio.

### Estabilidad

El P.Q. es estable a normales y bajas temperaturas.

Sin embargo algunos de estos aditivos puede fundirse y pegarse a altas temperaturas, por eso, se recomienda que el producto (P.Q.) no este a más de 140°F (60°C). A altas temperaturas el bicarbonato de sodio del polvo químico es convertido en carbonato de sodio, bióxido de carbono y vapor de agua.

### Toxicidad

Los ingredientes usados en el P.Q. no son tóxicos.

Sin embargo la descarga de grandes cantidades pueden causar dificultades respiratorias temporales inmediatamente después de la descarga y serias interferencias con la visibilidad dado - que físicamente el polvo químico son finas partículas entre los 10 micrones a los 75 micrones de tamaño.

### Propiedades Extinguientes

Cuando es introducido el polvo químico en un área encendida, hace que practicamente la llama desaparezca rápidamente. El mecanismo y actuación química del P.Q. no es todavía muy conocido. El enfriamiento y escudo de radiación que se forma, contribuye a la eficiencia del P.Q., pero recientes estudios sugieren que la ruptura de la reacción en cadena de la combustión puede ser la principal causa de la extinción.

### Acción Sofocante

Por muchos años se pensó que las propiedades extintivas del polvo químico se basaban en la acción sofocante del bióxido de carbono, el cual se formaba con el calentamiento del bicarbonato de sodio por el fuego. El  $\text{CO}_2$  indudablemente contribuye a la efectividad del polvo químico así como también el volumen de vapor de agua generado cuando el polvo químico es calentado pero pruebas independientes llegan a refutar esta acción dado que el compuesto químico presenta un factor de acción mucho mas alto.

Por ejemplo ha sido demostrado que 5 libras de P.Q. son tan efectivas como 10 libras de  $\text{CO}_2$ . Debe considerarse en esta apreciación, que en la descomposición del P.Q. solamente se anexa un 26% por peso de  $\text{CO}_2$ . Este concepto lleva a pensar que el P.Q. no extingue en forma primaria por Sofocamiento.

### Acción Refrigerante

La acción refrigerante del polvo químico no debe ser tomada como una razón importante para la extinción de fuegos.

Estudios basados sobre la capacidad calorífica de varios tipos de polvo químico mostraron que para un rango de temperatura desde los  $18^\circ\text{C}$  a los  $300^\circ\text{C}$  ( $64.4^\circ\text{F}$  a  $572^\circ\text{F}$ ), el polvo químico que contiene 95% de bicarbonato de sodio, 3% de borax y 2% de eg tearato de zinc absorbe 259 calorías y 463 calorías por gramo - con respecto a cada una de las temperaturas. En el caso de emplear solamente bicarbonato de sodio para el mismo rango se obtiene una absorción estimado de 79 calorías por gramo en ambos - polos de temperatura.

### Escudo de Radiación

La descarga de un polvo químico produce una nube entre - la llama y el combustible. Esta nube forma un verdadero escudo-térmico entre la llama y el combustible y limita la formación de vapores o gases que alimenta la combustión. Esta propiedad cong

tituye una ventaja, dado que al accionar el polvo químico sobre un fuego forma una pantalla que permite acercarse mas hacia la zona de combustión sin sentir el calor radiante que con el humo constituyen los principales problemas físicos en el ataque al fuego.

### Bloqueo de la cadena de reacción

La propiedad anterior del escudo de radiación contribuye indudablemente a la acción extinguyente del polvo químico, pero estudios posteriores, revelan que otro factor que logra probablemente una mayor contribución que los otros factores combinados - está presente en la acción extinguyente.

La teoría de la cadena de reacción del combustible fue perfeccionada por algunos investigadores al asumir que los radicales libres están presentes en la zona de combustión y que la reacción de estas partículas con los otros radicales son esenciales para sostener la combustión.

En este caso parece ser que la descarga de la nube de -- polvo químico hacia la zona de combustión previene la reacción - de las partículas que se generan para continuar la reacción en - cadena.

### Polvo Químico Multipropósito

Este tipo de polvo químico denominado multipropósito es una mezcla química para ser usada sobre fuegos incipientes en

~~combustibles~~ sólidos (Clase A) o bien sobre fuegos de combustible líquido (Clase B) e incendios que involucren equipo eléctrico (Clase C).

Este tipo multipropósito consiste en diferentes ingredientes. La composición exacta no ha sido revelado por los fabricantes, pero se sabe que el fosfato de monoamonio es el principal ingrediente. Su mecanismo de extinción no se conoce con exactitud- sin embargo se sabe que su gran habilidad para adherirse a super-ficies sólidas (Clase A) forma una cubierta protectora que tiende a retardar la combustión.

Sobre la Clase B, el polvo químico multipropósito es de igual efectividad que el polvo químico con base de bicarbonato de sodio. La acción extinguyente toma lugar en la zona de reacción- y su mecanismo de acción no está aun definido pero es indudable - que bloquea la reacción en cadena

La resistividad eléctrica del multipropósito es alta (co-mo es el caso del polvo con base de bicarbonato de sodio) y por eso es apto para la clase C.

### 3.6. USOS Y LIMITACIONES DEL POLVO QUIMICO

El polvo químico es usado en principio para la extinción fuegos en líquidos inflamables. Dado que no es conductor eléctrico puede ser usado sobre fuego de líquidos inflamables que envuel-ven equipos con energía eléctrica.

Dada la rapidez con que el polvo químico extingue la llama, es usado sobre superficies en combustión de materiales sólidos (Clase A). Sin embargo , aunque verdaderamente apaga o baja la llama es necesario aplicar agua, dado que mientras existe brasa, el problema de la reignición está latente.

El polvo químico no produce una atmosfera inerte permanente sobre la superficie del combustible consecuentemente su uso no es la solución ideal si se tiene metales recalentados en el área que pueden reiniciar la combustión.

El polvo químico no debe ser usado en relay y contactos-eléctricos delicados como por ejemplo montantes telefónicos, computadoras etc., dado que no es conductor y en virtud de su fina-granulación forma verdaderas capas aislantes sacando de operación al equipo hasta su difícil limpieza total.

El polvo químico no apaga fuegos que penetran bajo la superficie o fuegos en materiales que no dependen del oxígeno del-aire para su combustión.

Son seis las características que se tienen que tomar en cuenta para decidir una compra de este producto:

- a) La composición química
- b) La granulación

- c) El contenido de humedad
- d) La repelancia al agua
- e) La resistividad eléctrica
- f) Su acción abrasiva

Resumiendo los ignífugos temporales son el polvo químico y el gas carbónico (dióxido de carbono) mientras que los ignífugos permanentes son principalmente el agua la espuma química y mecánica y el agua liviana.

El polvo químico seco, en todos son tipos es un ignífugo temporal es decir, que no impide que los vapores o gases inflamables se sigan produciendo ya que no da lugar a un descenso de la temperatura ni forma una "tapa" que separe estos vapores o gases del aire por lo tanto el fuego puede reiniciarse con facilidad. En consecuencia su acción de detener y absorber los radicales químicos o iones que se generan en la combustión podría considerarse como una pantalla temporal colocada entre los elementos que conforman el triángulo de fuego, separándolo; si esta separación no se prolonga lo suficiente como para que se produzca el enfriamiento adecuado para que cese la generación de estos radicales libres el incendio se reiniciará.

Este hecho hace que la acción de dos extintores de polvo químico seco no se sume para cubrir una area incendiada mayor --

que su rating declarado (efectividad relativa de extinción) es decir que si tenemos un area probable de fuego de 9 m<sup>2</sup> no podrá ser cubierta por los extintores cuyo rating sea de 4.5 m<sup>2</sup> sino por otro de mayor volumen y que tenga un rating superior a los 9 m<sup>2</sup>.

En el caso de los agentes ignífugos permanentes (como el agua espuma química o mecánica), sus acciones si se suman puesto que sus efectos son estables ya que al disminuir la temperatura del area incendiada no se producen mas radicales libres o iones, impidiendo la reinflamación en la zona cubierta pudiendo usarse un extintor de igual rango para terminar de cubrir totalmente la zona incendiada.

### 3.7. ESPUMAS EXTINGUIENTES

Las espumas extingüentes son agregados que forman burbujas llenas con gas en un medio ácido y en densidad menor que los líquidos inflamables permitiendo cubrir y enfriar el combustible impidiendo el contacto entre los vapores formados y el oxígeno del aire.

Las espumas extingüentes se clasifican en dos grupos:

Espumas químicas, formadas por la reacción de una solución de sales alcalinas y una solución de sales acidas en presencia de un agente estabilizador espumante y espumas mecánicas for-

madas por la mezcla turbulenta de aire con agua que contiene pequeñas proporciones de un agente espumante.

En la actualidad el uso de la espuma mecánica está desplazado a la espuma química que es la más antigua de los dos tipos.

Por norma nacional el uso de extinguidores manuales de espuma química y soda ácida ha quedado prohibido según consta en la Resolución Directoral N° 607-74 I/C/F 6I del 14-4-72 del Ministerio de Industria.

### Espuma Química

La espuma química es formada por la reacción en agua de una mezcla, de dos productos llamados "A" y "B". Generalmente el "A" es el sulfato de aluminio y el "B" es bicarbonato de sodio conteniendo un agente espumante y un estabilizador. El CO<sub>2</sub> es uno de los productos de la reacción y parte de él queda atrapado en las burbujas. Dado su alto contenido sólido el CO<sub>2</sub> que lleva las burbujas, las hace resistentes a la llama y a la ruptura mecánica.

Las nuevas soluciones químicas, cuando reaccionan entre sí a temperaturas de 60°F a 85°F, produce densas espumas con un volumen de expansión de 9.5 a 10.3 veces mayor que el volumen de agua y soluciones químicas mezcladas.

Por encima o por debajo de estas temperaturas se forma espuma de pobre calidad y esta tendencia aumenta conforme se aleja el rango de temperatura de los parámetros óptimos descritos. Las temperaturas mas altas originan una formación de burbujas grandes que rápidamente se rompen.

Las temperaturas mas bajas producen la formación de un barro que rápidamente se aglutina dejando áreas libres. Cuando por mal almacenaje el compuesto se deteriora se forma espuma de pobres cualidades originando una baja expansión y una rápida destrucción de las burbujas. La espuma química formada no es posible de ser transportadas por tuberías largas.

### Espuma Mecánica

La espuma mecánica se forma por la turbulencia física creada al incorporar aire a una solución de agua que contiene pequeñas proporciones de un espumante concentrado. Dependiendo de la forma de mezcla efectuada, la burbuja adopta determinadas propiedades: si la proporción de aire y la presión son apropiadas, se forman burbujas pequeñas y homogéneas en tamaño con un bajo rango de rotura. Si por el contrario la dosificación no es correcta, se forma una variedad de tamaño de burbujas con la característica que colapsan rápidamente dando lugar a un alto rango de rotura.

La temperatura del agua donde se genera la espuma mecánica no influye seriamente en sus características.

## FORMACION DE LAS ESPUMAS QUIMICAS Y MECANICAS

### Formación de la Espuma Química

Para producirse la espuma química es necesario la unión de los reactivos químicos en agua a temperatura entre los 60°F a 85°F. Existen dos métodos o sistemas para la obtención de éste tipo de espuma. Uno de ellos llamado de Solución Húmeda, el cual emplea dos soluciones separadas llamadas A y B, que al unirse reaccionan entre sí formando la espuma química. El otro tipo llamado sistema seco, utiliza cristales químicos que al hecharse sobre el agua o verter el agua sobre estos en la proporción adecuada, también forman la espuma química.

En principio los compuestos químicos A y B consisten en sulfato de aluminio  $Al_2 (SO_4)_3$ , 18  $H_2O$  para el caso del producto A. Se emplea el bicarbonato de sodio ( $NaHCO_3$ ) con una proporción de estabilizador de espuma, formando el llamado compuesto B. Para utilizarse la solución A debe estar compuesta por agua y 13% de sulfato de aluminio y la solución B debe contener agua y 8% de bicarbonato de sodio mas un 3% del estabilizador de espuma. Pero esta última solución puede deteriorarse con pérdida de bioxi

do de carbono (dependiendo de la temperatura de almacenamiento) pero puede reactivarse si se le agrega CO<sub>2</sub> a presión al tanque de almacenamiento.

La espuma química gana mucho en consistencia si se emplea sulfato de aluminio hidratado en la reacción de formación de espuma. Es muy pequeña la contribución en el extingüimiento con espuma química del gas carbónico contenido en las burbujas, por lo que no debe tenerse en cuenta.

#### Generación de la Espuma Mecánica

La espuma mecánica se forma cuando se introducen ciertos líquidos en un sistema de agua con acompañamiento de una corriente de aire, de este modo se crea la espuma mecánica. Existen varios tipos de espumantes concentrados o compuestos que se pueden adquirir en el mercado pero básicamente se les conocen como de dos tipos. Concentrados tipo proteicos y tipo sintéticos o no proteicos.

Tipo Proteico: Son concentrados que contienen polipéptidos de alto peso molecular, formados por hidrólisis químicas de las proteínas vegetales o animales. Varias sales metálicas polivalentes están incluidas en estos concentrados para darle mayor resistencia a la burbuja cuando ésta se encuentra en presencia del calor o de la acción mecánica. Se les obtiene en dos tipos denomi

nados "6% y 3%". El primero quiere decir que su uso debe estar dosificado con 6% del producto y 94% de agua.

Consecuentemente, el segundo se refiere a 3% diluido sobre 97% de agua. Este tipo proteico produce espumas denominadas de baja expansión.

### Tipo No-Proteico o Sintéticos

Este tipo de concentrados contiene compuestos de detergentes sintéticos y son capaces de rápidas formaciones de espumas. Estos son usados en proporciones del 2% al 6% por volumen de Agua dependiendo de las recomendaciones del fabricante y del uso que se quiera dar.

Es importante conocer que éstos concentrados contienen diferencias químicas básicas y no deben mezclarse jamás uno con el otro porque pueden causar la precipitación de sus ingredientes activos o reducen considerablemente sus propiedades individuales.

Este tipo de productos sintéticos, producen espumas de alta expansión y son agentes relativamente nuevos para el control de fuegos de la clase A y de la clase B, especialmente para espacios confinados. El desarrollo de este tipo de espumas fue efectuado por el Establecimiento de Investigación de Seguridad Minera de Buxton (Inglaterra), para problemas específicos de fuegos en minas de car

bón. Se funda básicamente en la expansión de concentrados sintéticos en un medio acuoso en alrededor de 1,000 veces al volumen de la solución original, produciendo un fácil corrimiento a lo largo de las galerías, transportando el agua de su composición a lugares inaccesibles a otros medios de control.

Esta alta expansión se logra al pasar una fuerte corriente de aire através de una red, tamiz o medio poroso en contacto con la solución acuosa del producto sintético. Es posible utilizarlos con una variante de "Sprinklers, o dispersores tanto automáticos como manuales dando un 100% de efectividad para una extinción total por inundamiento.

Este tipo de espumas produce el siguiente efecto sobre el fuego:

- a) Cuando se las genera en suficiente volumen desplazan el aire necesario para mantener la combustión ahogando el fuego.
- b) Al producirse el contacto de la espuma con superficie caliente, el agua contenida en la burbuja se convierte en vapor reduciendo la concentración de oxígeno por dilución del aire.
- c) La conversión del agua en vapor absorbe calor generado por la combustión.

- d) Dada su baja tensión superficial no todo el agua componente de las burbujas se convierte en vapor, tendiendo a penetrar en combustibles de la clase A. Sin embargo dependiendo del espesor del material, puede requerir remoción para tener la seguridad plena de la extinción total.
- e) Si se le acumula sobre material no inflamado la espuma la resguarda de cualquier contingencia y su remoción posterior es simplemente con agua o aire de presión.
- f) Es posible que gases tóxicos provenientes de la combustión estén introducidos en las burbujas remanentes por lo que debe tener mucho cuidado al remover este producto.

Las precauciones y el equipo de respiración autónomo debe usarse aún después de dominado el fuego.

En el campo netamente de la minera subterráneas es el medio más adecuado para incendios que desbordan el área de confinamiento primario, que es donde se localiza el foco del problema. Si existe amenaza de desborde a la capacidad de área con respecto a nuestro equipo portátil una inundación con espuma de alta expansión es lo más adecuado, si no se cuenta con mayor experiencia en el control de fuegos; dado que la técnica más económica a aplicarse depende de las circunstancias del momento.

### Espumas Fluoradas

Popularmente denominadas "agua liviana" están especificadas especialmente para incendios en productos líquidos inflamables. Cuando se empezó a investigar sobre este compuesto inicialmente tenía como base el bicarbonato de sodio acondicionado especialmente y era alternado con espumas de origen proteico, con intervención en el sistema del diclorodifluorometano. Recientemente se emplea únicamente materiales fluorados secretos y polímeros.

Este tipo de espumas corren muy rápidamente sobre la superficie del líquido y ahogan la combustión. Su preparación es al 6% y su uso requiere entrenamiento especial. No es recomendable para fuegos "A" por su baja penetrabilidad dada su fluidez.

En el campo minero donde las posibilidades de incendio principalmente son del tipo A no es recomendable.

### 3.8. USOS Y LIMITACIONES DE LAS ESPUMAS

Todas las espumas son básicamente una mezcla estabilizada de agua y gas o aire, dando un conjunto de baja densidad, pero con suficiente fluidez para movilizarse sobre la superficie de los líquidos y aun adherirse a las áreas verticales de los cuerpos sólidos. Ellas se utilizan dados sus efectos refrigerantes y su propiedad de aislar el combustible del oxígeno del aire.

Además la espuma refracta el calor y es opaca produciendo esta característica un efecto positivo para la extinción por espumas. Impide la generación de vapores aún por algunas horas después de emplearse pero conforme pasa el tiempo es mas propensa a la destrucción mecánica de la burbuja. La espuma puede ser removida sin detrimento de producto con que ha estado en contacto.

Elas pueden ser usadas para proteger equipo y estructuras del calor radiante. Dada su opacidad refleja el calor de las superficies sólidas donde ha sido aplicada y por la evaporación de su contenido de agua tienen un efecto refrigerante sobre la superficie.

La espuma puede ser usada para disminuir o detener la generación de gases tóxicos de los líquidos o sólidos en combustión y además tapa las cavidades donde los gases inflamables o tóxicos con colectados.

El uso más importante de las espumas está dado en el ataque a fuegos de hidrocarburos de petróleo del tipo gasolina con alta presión de vapor y bajo punto de ignición.

Es necesario anotar que la extinción es progresiva conforme va consolidandose su avance hasta completarse.

Dentro de sus limitaciones como agente ignífugo, se debe considerar que no es apropiado para fuegos que envuelven a gases

comprimidos (propano, butano etc). Tampoco debe aplicarse sobre aceites calientes, asfaltos, etc. dado que en estas circunstancias el agua puede causar pequeñas explosiones pudiendo arrojar porciones del material complicando a la periferia del problema poniendo en peligro al operador.

No se recomienda el uso de espuma en fuegos que envuelvan equipos eléctricos; dado su conductividad puede traer problemas de electrocución para el personal. No debe ser usado sobre materiales que reaccionan con el agua, como por ejemplo el sodio metálico.

### 3.9. AGENTES HALOGENADOS

Un componente halogenado es aquel que contiene uno o mas átomos de un elemento de la serie de halogenos por ejemplo, fluor cloro, bromo y yodo. Cuando los átomos de hidrógeno en un compuesto de hidrocarburo, tal como el metano ( $\text{CH}_4$ ) o el etano ( $\text{CH}_3\text{CH}_3$ ) son reemplazados con átomos halógenados las propiedades químicas y físicas del compuesto resultante son ostensiblemente cambiadas. El Metano, por ejemplo en un gas liviano inflamable. El tetrafluoruro de carbono ( $\text{CF}_4$ ) es también un gas, químicamente inerte no inflamable y de baja toxicidad.

El tetracloruro de carbono ( $\text{CCl}_4$ ) es un líquido volátil, que no solamente no es inflamable, sino que también ha sido am -

pliamente usado como agente extinguidor a pesar de su relativamente alta toxicidad. Generalmente, la presencia del fluor en un compuesto lo vuelve inerte y estable, la presencia de otros halógenos, particularmente el bromo, aumenta la efectividad de los extinguidores con el compuesto. Hoy en día, sólo cuatro de los muchos compuestos fluorinados disponibles son usados como agentes extinguidores del fuego. Ello con el bromotrifluorometano ( $\text{CBrF}_3$ ), dibromodifluorometano ( $\text{CBr}_2\text{F}_2$ ) bromoclorodifluorometano. ( $\text{CBrClF}_2$ ), y el dibrometetrafluoroetano ( $\text{CBrF}_2\text{CBrF}_2$ ).

Los compuestos como el tetracloruro de carbon, bromocloro metano y el dibrometatrafluoroetano son líquidos a la temperatura del ambiente, pero se vaporizan muy pronto aunque no instantáneamente y por lo tanto son ejemplos de "líquidos vaporizantes" usados como agentes extintores del fuego. El bromotrifluorometano y el bromoclorodifluorometano son gaseosos a la temperatura normal del ambiente y a presión atmosférica; sin embargo, por compresión y sustracción del calor de condensación pueden ser lucuificados permitiéndoseles ser almacenados bajo presión como líquidos. Ellos son muestras de agente extinguentes pertenecientes a los del tipo de "gas líquido" que se vaporizan rápidamente a temperaturas normales cuando son expulsados de depósitos que los mantienen a presión.

Ambos tipos de agentes es decir "el líquido vaporizante" y "el gas licuado" pueden ser expulsados de los extinguidores usando un propulsor de gas tal como el nitrógeno que no puede ser licuado por compresión a temperatura ambiente.

### 3.10. PROPIEDADES DE LOS AGENTES HALOGENADOS

Los agentes extinguintes halogenados están compuestos - del elemento carbono en todos los casos y otros componentes tales como el hidrógeno, Fluor, Cloro y Bromo. El tipo de estructura puede ser definido con el término "Enlace covalente" que significa que en estos compuestos como en algunos otros, tales como la sal (cloruro de sodio) no existe esencialmente tendencia a ionizar o convertir eléctricamente conductivo en presencia del agua. Por esta razón los agentes halogenados de hidrocarburo son adecuados para ser usados en incendios eléctricos dada su baja conductibilidad. Nótese que aunque un hidrocarburo puede ser componente inicial en el proceso químico para crear agentes halogenados, en algunos tales como el tetracloruro de carbono y el bromotrifluorometano, ningún hidrógeno está presente en el producto y se dice que está completamente halogenado. Los compuestos halogenados incompletos aún clasificados como agentes extinguidores de fuego bajo ciertas condiciones especiales pueden mostrar características inflamables como ocurre con el Bromuro de Metilo el cual incorpora tres átomos de hidrógeno en la molécula del agente.

Muchos de estos materiales han sido investigados con el propósito de evaluar su posible efectividad y practicidad como medio de extinguir el fuego. En esta tesis, sólo los compuestos que están en uso práctico o que están siendo considerados para desarrollo futuro son descritos.

### Clasificación de Agentes

Para facilitar referirse a estos agentes un sistema de "números halon" (Ver tabla) ha sido desarrollado el mismo que describe con un buen grado de precisión los numerosos componentes químicos que hacen esta "familia" de agentes. El primer dígito del número representa la cantidad de átomos de carbono en el compuesto de la molécula; el segundo dígito el número de átomos de fluor, el tercer dígito el número de átomos de cloro, el cuarto dígito el número de átomos de bromo, y el quinto dígito el número de átomos de yodo, si es que los hay. En este sistema los dígitos terminados en cero no están expresados. El bromotrifluorometano ( $\text{CBrF}_3$ ) por ejemplo está referido como Halon 1301 cuando se usa este sistema ya que la fórmula química muestra un átomo de carbono tres átomos de fluor ningún átomo de cloro, un átomo de bromo y ningún átomo de yodo.

EJEMPLOS DE NUMEROS HALON

<u>NOMBRES QUIMICOS</u>	<u>FORMULA</u>	<u>NUMERO HALON</u>
Bromuro de Metilo	CH <sub>3</sub> Br	1001
Ioduro de Metilo	CH <sub>3</sub> I	10001
Bromoclorometano	CH <sub>2</sub> ClBr	1011
*Dibromodifluorometano	CBr <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	1202
*Bromoclorodifluorometano	CBr ClF <sub>2</sub>	1211
*Bromotrifluorometano	CBr F <sub>3</sub>	1301
Tetracloruro de Carbono	C Cl <sub>4</sub>	104
*Dibromotetrafluoroetano	CBrF <sub>2</sub> CBrF <sub>2</sub>	2402

NOTA: \* Mayor uso actual

El tetracloruro de carbono fué el primero de la familia de agentes halogenados que fue aceptado y empleado principalmente para incendios de origen eléctrico desde hace 50 años. En la actualidad pese a su toxicidad en su estado natural (en contacto con el calor produce abundante emanación de gases altamente tóxicos) es empleado en el país como remanente de una campaña de ventas en la década del 60 y aún cuando su comercialización y empleo ha sido prohibido por constituir riesgo elevado, aún es posible encontrar granadas con tetracloruro de carbono. El bromoclorometano fué desarrollado por los alemanes durante la segunda guerra mundial y aun cuando es más efectivo y menos-

tóxico que el  $\text{CCl}_4$  no es tan eficiente como otros agentes halogenados. En 1968 la NFPA mediante la norma N° 10 deja sin efecto el reconocimiento de estos dos productos (104 y 1011) por motivo de su toxicidad.

El uso bromuro de metilo nunca fué aprobado en los EE.UU aún cuando ha sido usada en Europa como producto extinguyente, pero que en la actualidad ha sido virtualmente desplazado por otros compuestos menos tóxicos.

#### Mecánismo Químico de Acción

El mecanismo por el cual los agentes halogenados extinguen el fuego no es totalmente conocido. El fenómeno físico-químico de inhibir la reacción en cadena recién está en estudio.

Dos teorías han sido propuestas una se basa sobre los radicales libres del proceso y la otra sobre la activación iónica del oxígeno durante la combustión. La teoría del radical libre propone que el bromo reacciona con el combustible dando bromuro de hidrógeno ( $\text{RH} + \text{Br} = \text{R} + \text{HBr}$ ) y cuando reacciona con un radical oxhidrilo forma agua ( $\text{HBr} + \text{OH} = \text{H}_2\text{O} + \text{Br}$ ). Este radical de bromo libre empieza nuevamente el ciclo al unirse con el combustible destruyendo sus moléculas.

La teoría de activación iónica propone que la inhibición del proceso de combustión que proviene de la ionización de molé-

culas de hidrocarburos. Desde que los átomos de bromo tienen una órbita elevada con avidez para la captura de electrones lentos, tipo de los que tienen el oxígeno, el bromo inhibe la reacción por captura de electrones que se necesitan para la activación del oxígeno es decir para su unión estable.

Aun cuando el medio o la forma de activar propiamente no está definida, si se tiene conocimiento sobre sus magníficos resultados sobre todo tipo de fuegos, Es aplicable al tipo A en todas sus formas, lo mismo que al B o al C o sus combinaciones. Donde verdaderamente destaca en forma absoluta es en el control de vapores inflamables provenientes de líneas o tanques de presión. La Montecatini de Italia presenta una película que se ve un tanque de gasolina (J P4) de alto octanaje, el cual en uno de sus lados se enciende una fogata. Luego en forma simultánea se perfora el tanque y se dispara el 2402 (llamado en Italia Fluobrene). Se observa el chorro de gasolina que cae sobre las llamas (todavía no se dirige el extintor contra el fuego) sin producir su inflamación.

Se presenta un cuadro con las propiedades físicas de los distintos halógenos.

AGENTE	FORMULA	Nº HALON	TIPO	T. Ebullición ° F	T. Congela- miento °F	Gravedad específica a 4° C (agua=1)
Tetracloruro de Carbono	$CCl_4$	104	Líquido	170	- 8	1.595
Bromuro de Metilo	$CH_3Br$	1001	Líquido	40	-135	1.73
Bromoclorometano	$CH_2Br Cl$	1011	Líquido	151	-124	1.93
Dibromodifluorometano	$C Br_2 Fr$	1202	Líquido	76	-223	2.28
Bromoclorodifluorometano	$C Br Cl F_2$	1211	* Gas Líquido	25	-257	1.83
Bromotrifluorometano	$C Br F_3$	1301	* Gas Líquido	-72	-270	1.57
Dibromotetrafluorometano	$CBr F_2 CBr F_2$	2402	Líquido	117	-167	2.17

\* Depende de la temperatura de almacenamiento.

El único estudio sobre toxicidad de estos elementos, proviene de los laboratorios Underwriter's, presentándose sus resultados a continuación:

<u>GRUPO</u>	<u>DEFINICION</u>	<u>EJEMPLOS</u>
1 Muy alto	Gases o vapores en concentración del orden de 0.5% a 1% por volumen con exposición de 5 minutos son letales o producen daños muy serios.	Anhídrido Sulfuroso
2	Gases o vapores en el orden del 0.5% a 1% que en exposición de 30 minutos son letales o producen daños muy serios.	Amoniaco Bromuro de Metilo
3	Gases o vapores del orden de 2% a 2.5% de concentración que en una hora de exposición puede ser letal o producir serios daños.	Tetracloruro de Carbono, Cloroformo Bromoclorometano
4	Gases o Vapores que en concentraciones del orden de 2 a 2.5% pueden ser letales en 2 horas o producir serios daños	Cloruro de metilo Bromuro de etilo Dibromodifluorometano
5	Gases o vapores menos tóxicos que los del grupo 4 pero más tóxicos que los del grupo 6 .	-Gas carbónico -Dibromotetrafluoretano -Bromoclorodifluorometano
6	Gases o vapores que en concentraciones del orden del 20% durante 2 horas no producen daños al organismo.	-Bromotrifluorometano -Diclorotetrafluorometano

Como referencia de efectividad entre algunos de estos compuestos se presenta el siguiente cuadro; en pruebas efectuados sobre un-fuego tipo B, hasta su extinción.

<u>AGENTE</u>	<u>PESO</u> (ONZAS)	<u>TIEMPO</u>	<u>EFFECTIVIDAD</u> (%)
1202	7.6	1.9	148
1301	7.7	3	146
2402	10.5	2	107
1001	11.3	3.4	100 (Tomado como u- nidad)
104	15	3	75

Se realizaron algunas experiencias de campo, las cuales verificaron la información que se tenia del producto. Las pruebas se llevaron a cabo con el halon 2402, dando los siguientes-  
resultados:

PRUEBA N° 1

Objeto: Comparar el trabajo del halon 2402 y el CO<sub>2</sub>, sobre fue-  
gos de la clase B utilizando Diesel # 2.

Condi ciones: Tanque de 1.5 m<sup>2</sup> de superficie:

<u>Ignifugo</u>	<u>Tiempo de</u> <u>pre-combustión</u>	<u>Tiempo de</u> <u>apagado</u>	<u>Producto</u> <u>consumido</u>
2402	30 seg.	1 seg.	1 Kg
CO <sub>2</sub>	30 seg.	no apagado	10 Kg.

PRUEBA N° 2

Objeto : Comparar el trabajo del halon 2402 y el polvo químico BC estandar.

Condiciones: Tanque de 4 m<sup>2</sup> de superficie:

Ignifugo	Tiempo de pre-combustión	Tiempo de apagado	Producto consumido
2402	30 seg.	3 seg.	2.5 Kg.
2402	60 seg.	3.2 seg.	2.8 Kg.
P.Q.BC	60 seg.	10.5 seg.	30. Kg.

CONCLUSIONES: Tanto la prueba N° 1 como la Prueba N° 2 nos muestran ciertas ventajas del halon sobre los dos productos de comparación pero se debe tener en cuenta que para incendios no experimentales en los que intervienen múltiples factores la relación de efectividad baja hasta un 4:1 es decir que un extintor de 12 kilos de polvo químico equivale a uno de 3 kilos de halon dado que este último producto baja su alto rendimiento en fuegos del tipo-A. Se aclara que la reacción 4:1 no es exacta pero se le acostumbra a usar, ya que ella involucra un factor de seguridad ante la poca experiencia con estos nuevos productos.

3.11. AGENTES EXTINGUIENTES PARA METALES COMBUSTIBLES

Bajo ciertas condiciones de tamaño de partícula y composición una variedad de metales están sujetos a ignición generalmente como resultado del calor producido por fricción, mezcla con al

gún material o por exposición al fuego de otro material combustible. Mediante rígidas normas de seguridad se previene la ignición de ellos pero ocasionalmente puede producirse su combustión y es necesario atacar con extintores. Pese a que la industria minera actual no cuenta con mayores problemas de este tipo con excepción de los laboratorios en donde se tiene fósforo químico, es necesario tener el concepto de este tipo de problemas debido a la tendencia de las empresas modernas de realizar el máximo de trabajos en maestranzas sobre metales y a la diversidad de subproductos -- que día a día se intenta recuperar o separar de los concentrados minerales. No transcurrirá mucho tiempo que el profesional de Seguridad deba tener conocimiento de productos especiales para este tipo de incendios denominados D. Hasta la fecha la experiencia en el país de este campo se limita a bibliografía y fuegos provocados experimentalmente pero en el extranjero estos problemas son muy frecuentes dada la alta tecnificación y variedad de recursos, usándose todo tipo de elementos incluyendo los metales combustibles.

Ciertos agentes de magnífica acción sobre otros tipos de fuegos pueden reaccionar violentamente sobre los metales combustibles (MC) como es el caso del agua sobre el sodio, y los líquidos vaporizantes sobre fuegos de magnesio; ya se ha manifestado que para estos MC se utiliza el polvo seco el cual no debe confund

dirse con el polvo químico que es apropiado en tipos ABC.

En forma breve, serán descritos los mas conocidos:

Pyrene G-1 (De la NORRIS Industries). Es un COMPUESTO que contiene COKE de fundición grafitado con adición de fosfatos orgánicos. El grafito actua como un conductor del calor y lo absorve bajando la temperatura del material por debajo de su punto de ignición. Los fosfatos orgánicos al ser elevada la temperatura producen gases que al introducirse entre los espacios de las partículas de grafito, excluyen el aire impidiendo su combustión. Este tipo de polvo no es tóxico. Necesita para su empleo un gas impulsor y su recarga debe ser anual por su tendencia a compactarse Sirve para fuegos en magnesio sodio, potasio, titanio, litio , zirconio, hafnio, torio, uranio y plutonio. Ha sido también recomendado para aluminio, zinc y hierro. Este producto lo fabrica Kidde. Co. con el nombre de Metal Guard.

MET-L-X (De la ANSUL Co.) Este tipo de polvo seco contiene una base de cloruro de sodio y aditivos tales como el fosfato tricalcico que le imprime características de fluidez y estearatos metálicos para la repelencia al agua.

Se sabe que contiene materiales termo-plásticos unidos al cloruro de sodio con el fin de solidificar o unir las partículas de los MC. No necesita recargas periódicas y se utiliza al-

nitrógeno como impulsor. Funde sobre la superficie y desplaza el aire interno con los vapores que emana.

Entre sus principales aplicaciones se encuentran: fuegos en magnesio sodio y potasio. Puede ser usado también sobre circonio, uranio y titanio, pero sobre aluminio es muy peligroso pues genera gases altamente venenosos.

**FOUNDRY FLUX** (De la Dow Chemical), Especialmente creado para controlar los trabajos de moldes y fundición del magnesio. Consiste en una mezcla de cloruro de potasio, cloruro de bario, cloruro de magnesio, cloruro de sodio y cloruro de calcio. Cuando se aplican sobre combustibles de magnesio estos productos funden en su superficie impidiendo su contacto con el aire. Su principal problema es su higroscopicidad y el agua contenida en el aire destruye sus sales por lo que su almacenamiento debe ser hermética.

**POLVO LITH-X** (De la Ansul Co.) Es un compuesto con base especial de grafito y aditivos. Su mayor aplicación está sobre fuegos de litio principalmente. Se funde sobre él aislandolo del oxígeno. También puede emplearse sobre magnesio, circonio y sodio.

**Líquido T M B** (De la Callery Chemical Co.) Su nombre está constituido por las siglas del trimetoxiborato y es empleado-

en exclusividad por la marina americana para controlar fuegos de magnesio. Es explosivo sobre fuegos de sodio, sodio-potásico y litio.

POLVO PYROMET (De la Pyrene Co.) Es un compuesto de cloro de sodio y fosfato de monoamonio, en la adición de algunos aditivos como arcilla y repelentes al agua.

POLVO TEC (de la John Kerr). Es la versión inglesa del Foundry Flux.

## C A P I T U L O   I V

### EQUIPO CONTRA INCENDIO ADECUADO A LA

#### MINERIA

#### 4.1. EXTINTORES PORTATILES

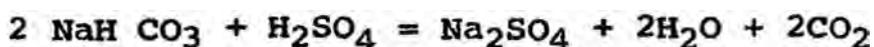
Los extintores están clasificados en 5 grandes grupos, basados en general en el producto que contienen. Estos grupos también sirven para describir sus características operacionales.

##### Extintores con Base de Agua

##### Agua Presurizada

Constituye el mas simple de estos equipos, usualmente con capacidades variables entre 2.5 galones a 5 galones. Esta constituido de un cilindro generalmente de metal (en cualquier momento salen al mercado los tachos de polietileno de alta densidad o las de polipropileno de alto impacto). Son de dos tipos: Presurizados o Accionados por cartucho impulsor. En general son con descarga controlada. De fácil recarga es posible hacerlo si se cuenta con una compresora dado que en la mayoría de ellos presenta una válvula o pitón del tipo llanta neumática. El producto es únicamente agua a la que puede adicionarsele o no un anticongelante o algún otro producto que le imprima características especiales como es el caso del agua penetrante. Distancia máxima 15 mts. tiempo de descarga ± 15 segundos.

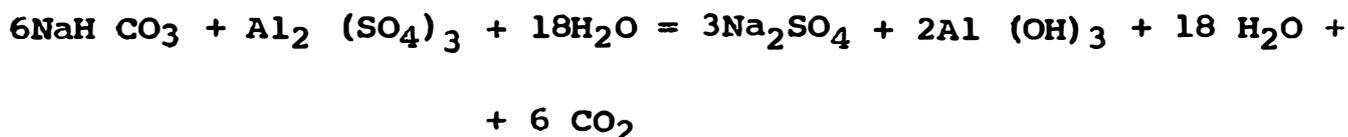
Tipo Soda Acido. Usualmente de 2.5 galones, son también recipientes cilindros de metal que contienen una cantidad específica de bicarbonato de sodio disuelto en los 2.5 galones de agua. En la parte superior tiene un pequeño recipiente, tapado generalmente con una pequeña lámina de plomo superpuesta, y contiene en el interior alrededor de 4 onzas de ácido sulfúrico concentrado. Este recipiente es de vidrio, plomo o cerámica. Para accionar el equipo se invierte el extintor de forma tal que el ácido sulfúrico entre en contacto con el agua que contiene el bicarbonato de sodio, produciéndose la siguiente relación química.



El bióxido de carbono actúa como impulsor y rápidamente genera presiones interiores que pasan las 150 libras por pulgada-cuadrada. La prueba hidráulica se efectúa a 500 PSI. Este tipo de equipo no utiliza válvulas de control y su descarga es total. Presente el inconveniente que a temperaturas menores de 40°F su carga se congela y no es posible utilizar el cloruro de calcio u otro anticongelante pues interfiere con la reacción. Una variante de este tipo convencional es el de tipo ampolla la que es rota desde el exterior al accionar un pin que la rompe dejando libre el ácido sulfúrico, tienen un alcance máximo de 10 mts.

### Extintores de Espuma

Son similares en apariencia externa a los de soda ácido. El modelo mas popular de los equipos es el 2.5 galones y es usado principalmente sobre fuegos de la clase B, pero también tiene uso sobre la clase A. El extintor tiene un cilindro pequeño en su interior, el que contiene una solución de sulfato de aluminio, este recipiente está semi-sumergido en una solución de bicarbonato de sodio y un aditivo estabilizador de espumas. Cuando el extintor es invertido la mezcla de las dos soluciones producen la siguiente reacción:



El último término de la ecuación,  $6\text{CO}_2$ , es el gas impulsor de la mezcla. Se produce una espuma con un radio aproximado de 8 a 1. Ejemplo: 2.5 galones de solución producen por lo menos 18 galones de espuma.

La destrucción de la burbuja es muy lenta y ello hace que se prive del oxígeno necesario para mantener en combustión al líquido inflamable. La cantidad de espuma necesaria para sofocar la combustión debe ser tal que cubra totalmente la superficie del líquido. El alcance máximo del chorro es aproximadamente de 10 mts.

### Líquidos Vaporizantes

Uno de los productos típicos para suprimir el fuego, es el tetracloruro de carbono, el cual se vaporiza por el calor de la combustión. El clorobromo-metano tiene similares características, pero ninguno de ellos cuenta con la aprobación de la NFPA, pese a su uso en algunos países. Hace algún tiempo las granadas de tetracloruro de carbono tuvieron aceptación general, pero dada su toxicidad han sido totalmente prohibidas inclusive en el Perú.

### Extintores de Gas Licuado

El bióxido de carbono es el mas común de los gases licuados que se utilizan. Para su permanencia en este estado se le almacena entre 800 a 900 Psi a temperaturas normales (70°F), este tipo de extintores consisten básicamente en un cilindro de alta presión con una válvula reguladora que descarga mediante una tobera. Desde la válvula al fondo del cilindro se encuentra un sifón que permite la descarga del 80% del gas licuado mientras que el 20% restante sale únicamente como gas.

La rápida expansión de líquido en el momento de la descarga produce un efecto refrigerante al convertirse parte del bióxido de carbono en nieve. Este enfriamiento tiene sin embargo un efecto relativamente menor que el producido por el ahogamiento o expulsión del oxígeno del área en combustión.

Los mas populares de los modelos se encuentran entre las 5 a 15 libras. así el primero de ellos tiene un rango de 4-B:C y el de 15 libras opera en los 12-B:C el alcance de la descarga está entre los 3 a 8 pies, es posible encontrarlos en mayores capacidades pero su descripción no es necesaria dado que no son portátiles.

El bromotrifluorometano, también es un gas extinguyente-licuado al igual que los distintos compuestos halógenados descritos anteriormente que intervienen en este punto de la clasificación.

#### Extinguidores de Polvo Químico

Aun no es posible uniformizar los tipos que existen pues en la actualidad algunas personas los clasifican según determinadas características, así por ejemplo tenemos:

1. Clasificados por su composición química (Base de Bicarbonato - sodio, Base de bicarbonato de potasio o base de fosfato de amonio).
2. Clasificados por su peso (5 lbs. 10 lbs, 30 lbs. etc).
3. Clasificados por su forma de operar (Cartucho interior, cartucho exterior, presurizados, etc).
4. Clasificados por su uso (BC, ABC, etc).

Estan considerados en la actualidad como los más comerciales dentro de los productos de ataque físico al fuego. Su descarga tiene un alcance efectivo entre los 6 a 10 mts. demorando es

ta, según el tamaño del extintor; así uno de 30 lbs. puede demostrar 12 segundos en descargar el 95% de su capacidad. Esta no es norma general dado que los distintos modelos presentan una mayor o menor abertura de salida.

#### 4.2. EQUIPO APROPIADO PARA LABORES SUBTERRANEAS

En principio se debe tener en cuenta las limitaciones legales incluidas en la reglamentación del sector. El artículo N° 238 del título segundo de la tercera parte de la ley orgánica de minería especifica claramente que no se podrá usar extinguidores químicos cuyos gases nocivos puedan contaminar el aire.

En forma rápida descartamos el gas carbónico y los halogenados, pudiendo utilizar agua espumas polvo químico y agentes para metales combustibles. Es necesario realizar una pequeña defensa en favor del halón 1301, para labores subterráneas. Ya se ha descrito en el Capítulo I, cuales son los gases que se desprenden de un incendio; y cuales son sus concentraciones letales o que producen serio daño. Se describió que el CO, es uno de ellos y se forma en combustiones incontroladas, mas aún en áreas de oxigenación restringida como es el caso de una bodega subterránea u otra instalación, y que es fatal en poco tiempo en concentraciones del orden del 0.03% y si sube a 1.28% se pierde el conocimiento en 2 o 3 aspiraciones. El CO<sub>2</sub>, causa la muerte en concentraciones del orden del 10% en pocos minutos.

El  $\text{NO}_2$  proveniente de la combustión de nitratos de celulosa nitrato de amonio, etc, es fatal entre 0.02% a 0.07% en cortas exposiciones. Además de estas características intervienen el factor densidad del producto que lo localiza en cotas o alturas - con referencias al piso. Además es necesario tener presente que la velocidad de formación de estos gases es función de la temperatura, y esta es función del tiempo.

Para una mejor visualización presentamos el siguiente cuadro:

<u>PRODUCTO</u>	<u>CONCENTRACION LETAL</u>	<u>G.E.</u>
CO	0.03%	0.97
CO <sub>2</sub>	10%	1.53
NO <sub>2</sub>	0.02%	1.59
1301	20% no produce daño	1.57

El halón 1301 tiende a concentrarse en el piso y su concentración letal no es conocida aún pero se sabe que a concentraciones del orden del 30% empieza a producir efectos anestésicos. Resulta evidente en forma teórica que los gases de combustión son mas dañinos y se producen su mayor cantidad que los gases provenientes del 1301.

Para su aplicación en minería subterránea no es suficiente esta suposición teórica y la aprobación de su empleo en las minas exigen pruebas mas concretas de verificación, confiando en que no serán descartados los halogenados dados sus mag-

níficos rendimiento. El futuro demostrará la certeza de esta afirmación.

Quedando pues totalmente aprobados los agentes ignífugos, agua, espuma mecánica, polvo químico y agentes para metales combustibles.

El agua es un principio lo más indicado, tanto por su bajo costo, la característica de ser un elemento de apoyo a la producción encontrándose en todas las áreas de trabajo y ser de toxicidad nula. El empleo de extinguidores de agua normal o con aditivos debe ser de uso corriente en la mina para estar en concordancia con la legislación vigente. En cada bocamina, polvorín, bodega de mina, piques con instalaciones de izamiento (en cada nivel) es recomendable tener un extinguidor de agua.

De preferencia que sea presurizado para controlar su carga mediante el manómetro y de material durable, tanto acero inoxidable o aluminio. Su instalación debe ser en un lugar visible y que no estorbe el paso. Como protección adicional es conveniente colocarlo en una caseta de madera para protegerlo de golpes, caídas de roca, polvo y humedad ambiente.

El polvo químico como agente ignífugo debe también estar presente en las labores subterráneas principalmente complemento del extintor de agua, y su localización debe ser principalmente en áreas donde exista equipo eléctrico activo. El tipo de es-

te polvo a emplearse esta descrito en el capítulo tres, pero para mayor seguridad se debe usar el multipropósito.

La espuma mecánica del tipo sintético exige técnicas especiales que deben ser estudiadas a fondo. Es posible que en un futuro próximo sea obligatorio su empleo en minería subterránea. pero aún no es comercializada en el país y su obtención exige la importancia directa.

Su única limitación son los incendios tipo C.

La cuadrilla de salvataje debe contar con un extintor de agua y otro con polvo químico multipropósito, transportados con correa a la espalda.

#### 4.3. EQUIPO APROPIADO PARA LABORES EN SUPERFICIE

En superficie no se tiene restricción para los ignífugos presentados en el capítulo III. El equipo apropiado está en razón directa de los elementos a proteger. Es necesario tener el concepto, que por más razones técnicas para escoger un equipo determinado si no se cuenta con personal conveniente entrenado, el rendimiento del equipo será muy pobre.

Para plantas metalúrgicas es recomendable el empleo de CO<sub>2</sub>, en primera instancia y polvo químico como complemento. En maestranza dependiendo de los elementos de producción también pueden ser protegidos por estos ignífugos.

El almacén principal puede estar protegido con halogenados (1301 ó 2402) y además contar con una instalación fija de agua en sus inmediaciones. Oficinas y demás locales de superficie en los que el riesgo es muy bajo deben contar con un extintor de polvo multipropósito, ubicado de forma tal que preste servicio a varios locales en forma simultánea. El lugar donde se encuentre el radio receptor-transmisor, es conveniente el empleo de CO<sub>2</sub> o un halogenado.

La casa de fuerza puede presentar problemas dentro de los tipos BC, es por eso la necesidad de colocar halogenados ó CO<sub>2</sub>. No es recomendable el polvo químico dado que es dieléctrico e inutilizaría los tableros y generadores.

Los vehículos de la empresa también deben estar protegidos; para ellos es preferible usar halogenados o polvo multipropósito. Se debe tener en cuenta que así estén asegurados, es posible bajar la prima del seguro anual si se demuestra que la unidad está protegida por un equipo extintor.

Los polvorines deben contar principalmente con agua por razones de economía, pudiendo también emplearse halogenados, polvo químico, espumas y CO<sub>2</sub> en razón del tipo de elementos y explosivos almacenados.

#### 4.4. DISTRIBUCION DEL EQUIPO EXTINTOR

Teniendo en cuenta que el equipo portátil, constituye en principio la primera defensa, ella está constituida por los extintores portátiles debiendo tener la máxima efectividad posible. La distribución debe ser funcional en cuanto a localización y acceso. El factor tiempo es decir el número de segundos o minutos, empleados en llegar y regresar con el equipo adecuado más cercano es un factor tan importante como el tipo de equipo a utilizarse. Es difícil dar normas generales de estrategia de distribución de portátiles pero se puede dar distancia máximas de localización entendemos que estas máximas no se diseñan o señalan sobre un plano dado que es normal la acumulación de maquinaria ó material almacenado, paredes, puertas, etc., que no siempre aparecen en el plano. Así pues se dá el caso, que la separación física entre dos equipos es de 25 cms., que es el espesor de una pared, pero que para ir de un punto hacia el otro, se tiene que caminar 100 metros. Como norma general, además del criterio estratégico de distribución se debe tener en cuenta lo siguiente:

1. Densidad de valores por metro cuadrado
2. Tipo de material a protegerse
3. Capacidad y potencia de la unidad extintora
4. Número de personas entrenadas.

Para simplificar el punto a tratarse y por la conveniencia en uniformizar el lenguaje, denominaremos las instalaciones a

protegerse en tres grupos:

- a) Bajo riesgo es decir cuando la cantidad de sustancias combustibles presentes, crean como posible expectativa, fuegos de pequeño tamaño. Ej. Oficinas de material noble, viviendas etc
- b) Mediano riesgo ó de riesgo ordinario, se refiere a poder esperar fuegos de tamaño medio. Ej. Mercantil, Casa de Fuerza, Planta Metalúrgica etc.
- c) Alto riesgo, cuando es posible esperar fuegos de severa magnitud, o que por su situación física emane gases letales creando serios problemas, Ej. Polvorines, Bodegas internas, Carpintería, lugares en que se trabaje con combustibles líquidos y pinturas (maestranza) etc.

Teniendo estos conceptos se presenta un cuadro de distribución de equipo para fuegos de clase A. Su confección está basada para equipos de mínimo RATING, es decir de mínimo RANGO, dentro de los comerciales. En ciertos casos através del análisis de áreas especiales de procesos peligrosos, es necesario utilizar equipo de RANGO mas alto. Esto no significa sin embargo, que la máxima distancia recomendada pueda ser excedida.

<u>Mínimo</u>	<u>Máxima</u>	<u>Areas a ser protegidos</u>		
Rango del Extintor	Distancia Entre Extintores.	Bajo riesgo pies <sup>2</sup>	Mediano riesgo pies <sup>2</sup>	Alto riesgo, pies <sup>2</sup>
1-A	75 pies	5,000 o men	Ver nota:	Ver nota
2-A	75 pies	6,000	3,000	Ver nota
3-A	75 pies	9,000	4,500	3,000
4-A	75 pies	11,250	6,000	4,000
6-A	75 pies	11,250	9,000	6,000

NOTA: Técnicamente no están permitidos.

Por ejemplo tenemos un area de alto riesgo de 24,000 - pies<sup>2</sup>.

La solución, puede tener varias alternativas; una de ellas, puede ser cuatro extintores de 6-A. Otra solución puede ser seis extintores tipo 4-A u ocho de los del tipo 3-A.

Arbitrariamente, como se observa, todas las soluciones son correctas, pero es allí donde se aplica el criterio de máxima distancia entre los equipos. Suponiendo que el local tiene 300 - pies de largo por 80 pies de ancho es posible colocar equipo 6-A - pero si físicamente son 6 compartimientos, ya no es viable esta solución. También es interesante tener en cuenta lo siguiente:

- a) El número de equipo debe estar en relación directa con el número de personas entrenadas.
- b) A mayor número de equipo técnicamente calculado el factor de-

inoperatividad del mismo por atascamiento es menor. Si se tiene uno solo y no trabaja, el factor de inoperancia es 100%, si dispone de 2 extintores, y uno se traba el factor se reduce al 50%.

- c) Si el número de personal es bajo, es preferible utilizar equipo de alto rango.
- d) No es técnico, saturar el área de extintores, pues al igual que en ingeniería se utiliza el término "sobre diseño", al referirse a una estructura anti-económica por el exceso de fierro etc. Así también la sobre-distribución no es económica y el resto de inversión nulo.

Para los fuegos de la clase "B" la ingeniería de prevención los separa en dos grupos generales. El primero contempla fuegos que involucran a líquidos inflamables de poca profundidad, como son los derrames en superficies horizontales o rajaduras en recipiente de almacenaje.

El segundo grupo contempla fuegos con mayor profundidad de líquidos inflamables (es decir más de un cuarto de pulgada), como son los tanques abiertos comunes en las áreas de almacenaje.

Para los casos de posibles derrames de poca profundidad se presenta la siguiente tabla.

<u>Rango Mfínimo</u>	<u>Distancia Mfxima</u>	<u>Tipo</u> de Severidad
4-B	50 pies	Baja
8-B	50 pies	Normal
12-B	50 pies	Alta

Correspondiendo: Petróleo - Baja  
Kerosene - Ordinaria o Normal  
Gasolina - Alta

La razón de colocar el equipo espaciado cada 50 pies y no 75 pies como en la clase A, es que este tipo de fuegos alcanza su máxima intensidad casi inmediatamente. Y el tiempo para tomar el equipo y acercarse al área en combustión debe ser más corta que en tipo A. y desde su inicio el calor radiante es más enérgico, impidiendo en pocos segundos que la persona se pueda acercarse y tenga que usar equipo pesado que no es materia del presente estudio, dadas las caracterfsticas propias del sector minero en el país, donde no existen grandes acumulaciones de combustibles líquidos, como es el caso del área industrial.

Para fuegos de mayor profundidad no es posible utilizar tablas; el criterio y la experiencia es imprescindible en este caso. Como información, se puede agregar que se debe utilizar equipo de alto rango, (se pueden obtener desde 40-B hasta 320-B). La reglamentación americana exige que cada tanque de más de 150 galones y de por lo menos 4 pies cuadrados de superficie debe estar -

protegido automáticamente por agua pulverizada, espuma, CO<sub>2</sub>, Polvo químico u otros sistemas (Ver norma NFPA 34). En nuestro país existen normas de protección dictadas por el M.I.C. mediante el D.S. 42-F del 22-5-64, que en su artículo 160 especifica que la distribución ubicación y codificación será según reglamento NFPA- (National Fire Protection Ass).

Teniendo en cuenta que el Reglamento de Seguridad del Sector Minero, no especifica sobre este rubro, la resolución del MIC es la única vigente.

Por la distribución de equipo portátil en fuegos de la clase C, se debe basarse en el tamaño del equipo eléctrico y en el rango de la energía eléctrica.

En las casas de fuerza, donde el voltaje no pasa de los 4,400 volts. no existe problema y puede usarse de todo con excepción de la espuma y el agua en chorro sólido, la distancia de distribución en este caso no es factor importante, en cambio se emplea el término "acceso". Así por ejemplo, se calcula el área del posible fuego y se coloca en cada acceso al tablero (Generalmente son 2 ó 3) un extintor con el rango completo para el área del equipo.

#### Identificación de los Extintores

Para permitir una rápida identificación del equipo portátil se ha convenido internacionalmente utilizar un mismo tipo -

de símbolo tanto en su forma como el color empleado el cual es fácilmente localizado en una emergencia. El tamaño de la letra "A" "B", "C" ó "D" que indica la adecuación al tipo de incendio debe ser tal que se pueda leer a una distancia de 3 pies. La situación del equipo si este no es visible desde una distancia de 25-pies por la interposición de algún obstáculo, el fondo de la pared donde se le ha instalado puede pintarsele un círculo o un rectángulo que permita identificarlo fácilmente.

Si la ubicación corresponde a una columna, es recomendable pintar un anillo visible, en todo el perímetro de la columna.

Cuando el equipo es apropiado a más de una clase de fuego las letras a que corresponden deben ir marcadas sobre el extintor. Ej. Clase  :  o de la clase  :  Internacionalmente se acostumbra utilizar:

CLASE "A": TRIANGULO VERDE conteniendo la letra "A" en blanco

CLASE "B": CUADRADO ROJO conteniendo la letra "B" en blanco

CLASE "C": CIRCULO AZUL conteniendo la letra "C" en blanco.

CLASE "D": ESTRELLA AMARILLA conteniendo la letra "D" en blanco

Cuando se trabaja sobre planos, existen símbolos convencionales que indican el tipo de ignífugo y si es portátil o no. La simbología a utilizarse en nuestro caso es:

-  Extintor de agua
-  Extintor de CO<sub>2</sub>
-  Extintor de polvo químico
-  Extintor halogenado
-  Rodante

Al lado del símbolo debe ir su capacidad. Ej.  12 Kg  
significa extintor de polvo químico de 12 Kg.

## C A P I T U L O V

### INCENDIOS EN ANFO

#### 5.1. NITRATO DE AMONIO: $\text{NH}_4 \text{NO}_3$

El uso del nitrato de amonio como ingrediente en la composición de explosivos, no es reciente. En 1867 los químicos suecos Ohlsson y Norbin patentaron el "Amoniakkurt", consistente en una mezcla de nitrato de amonio, polvo de carbón, ácido picrico, nitroglicerina o nitrobenceno. Tiempo después el  $\text{NH}_4 \text{NO}_3$  ha sido usado como componente de dinamitas y agentes de voladura en proporciones fluctuantes entre el 75% a 90%.

Recientemente se ha popularizado su empleo en varios explosivos pese a que el nitrato de amonio (NA) propiamente dicho no es explosivo, se le considera en minería como un explosivo base.

La mayoría de los tipos comerciales de nitrato de amonio contienen aproximadamente 33.5% de nitrógeno mientras que el nitrato de amonio puro tiene 35% de nitrógeno.

El NA es producido de soluciones de ácido nítrico que han sido neutralizados con amoniaco anhidro los cuales a su vez son modificadas por evaporación. Su elaboración consiste en cuatro procesos básicos:



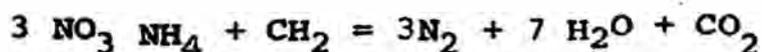
La evaporación al vacío y preparación de los cristales por centrifugación es el "KRISTAL PROCESS" en donde se regula el tamaño del cristal por el índice de evaporación e intervalo de centrifugación, los granos son después secados y envasados.

Cuando la evaporación lenta se hace a presión atmosférica la sustancia obtenida se vierte sobre recipientes donde es agitada produciéndose el graneamiento.

El AN-FO, está constituido por la mezcla del nitrato de amonio con sustancias combustibles en nuestro caso es el "Fuel Oil" específicamente el petróleo crudo diesel N° 2 en proporciones de pesos moleculares de aproximadamente 94.5% de NA y 5.6% de F.O.

Como forma de comparación un kilo de Anfo equivale a 4.5 cartuchos de 65% de nitroglicerina.

El cálculo que se sigue para su preparación parte generalmente de la pregunta. 'Cuánto petróleo debo agregar al N. A. para conseguir la detonación ideal?. Como la detonación ideal es el resultado de provocar la combustión completa es decir la reacción equilibrada el cálculo debe partir de las siguientes proporciones:



$$(3 \text{ NO}_3 \text{ NH}_4) = 3 (14.008 + 16 \times 3 + 14.008 + 1.008 \times 4) = 240.14$$

$$\text{CH}_2 = (12.011 + 1.008 \times 2) = 14.03$$

$$3 \text{ NO}_3 \text{ NH}_4 + \text{CH}_2 = 240.14 + 14.03 = 254.17$$

Porcentaje de nitrato de amonio

$$254.17 \quad 100\% \text{ de la mezcla}$$

$$240.15 \quad x \text{ de nitrato de amonio}$$

$$x = \frac{240.14 \times 100}{254.17} = 94.48\% \text{ de N.A.}$$

Porcentaje de  $\text{CH}_2$  (Diesel 2)

$$100 - 94.48 = 5.52\% \text{ CH}_2$$

Teniendo en cuenta que un saco de  $\text{NO}_3 \text{ NH}_4$  pesa 50 Kg. calculamos el peso de  $\text{CH}_2$  a utilizarse

$$50 \text{ Kgs (NA)} \quad 94.48\%$$

$$x \quad 5.52\%$$

$$x = \frac{5.52 \times 50}{94.48} = 2.92 \text{ Kgs. CH}_2$$

La densidad promedio del  $\text{CH}_2$  es de 0.90 Kg/lt.

$$\frac{2.92 \text{ Kg}}{0.90 \text{ Kg/lt}} = 3.25 \text{ litros por cada saco de 50 Kgs.}$$

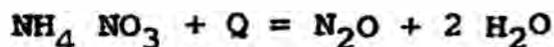
Una vez calculado la cantidad de petróleo a vertir sobre el NA, esta mezcla puede hacerse en dos formas en mezcladoras o directamente sobre el saco siendo más utilizado el procedimiento de agregar el petróleo sobre la bolsa de NA, previamen

te abierta y en posición vertical.

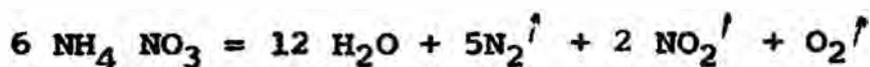
Se acostumbra dejar el saco en esa posición entre 6 a 12 horas, tiempo que permite el F.O. descender hasta el fondo de la bolsa.

Es recomendable voltear el saco por otro lapso de tiempo similar para una mejor uniformización del producto. Este tiempo de preparación es el que constituye un problema de seguridad dado que es un compuesto combustible y su ignición originará grandes cantidades de óxidos de nitrógeno cuyos efectos ya han sido ampliamente descritos.

La descomposición por temperatura (200°C a 260°C) origina los siguientes productos:



Su degradación por el tiempo de almacenamiento excesivo y en virtud de la alta hidroscofia del NA, logra el siguiente resultado.



Siendo gaseosos los 3 últimos nos quedaría únicamente agua.

## 5.2. PROBLEMAS DE INCENDIO EN ANFO

El reglamento de Bienestar y Seguridad Minera, específicamente en su artículo 193, que la planta de mezclado y almacén-

de nitrato de amonio, tendrán provisión de suficiente cantidad - de agua almacenada o grifos de agua para combatir incendios, teniendo presente que el agua solo sirve para enfriar y que los extinguidores no son efectivos pues el nitrato de amonio arde con su propio oxígeno. En su artículo 196, manifiesta que el nitrato de amonio aún no mezclado o sensibilizado será almacenado en un local aislado de condiciones tales que no cree peligro de incendio a otros edificios vecinos.

Posteriormente el artículo 199, reglamenta que siendo - las mezclas de ANFO muy inflamables, serán tratados como explosivos y almacenadas en depósitos secos bien ventilados con las mismas precauciones que estos. Por último el artículo N° 200 especifica que el ANFO envasado en sacos debe ser colocado en anaqueles de madera que permiten la libre circulación de aire y de las personas entre los anaqueles y alrededor de estos.

Al respecto de los cuatro artículos, después de varias - pruebas de campo, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

1). Con respecto al artículo 193, se informa que no es cierto que los extinguidores no son efectivos. Si tenemos presente que un extintor se emplea como un medio de ataque al fuego inmediato, es decir cuando la magnitud de área está de acuerdo - en su rango de acción el 100% de las veces que se empleo distin-

tos tipos de extintores la sofocación fue normal para el producto extinguiente.

Las pruebas se efectuaron sobre 50 kilos de ANFO, preparado cuidadosamente de acuerdo a las proporciones descritas anteriormente. El encendido de la mezcla previamente reposada se efectuó con una estopa impregnada de petróleo. Como primera observación se tiene que su encendido fue difícil y lo mismo sucedió en todas las demás pruebas, lo que en principio no está de acuerdo con la alta inflamabilidad del ANFO del artículo 199 (mas adelante se va ampliar la observación).

Inmediatamente después que la llama hacía su aparición era notorio la efervescencia del prill, el cual liberaba gases de petróleo que mantenían la llama encendida.

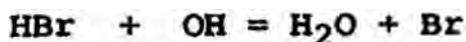
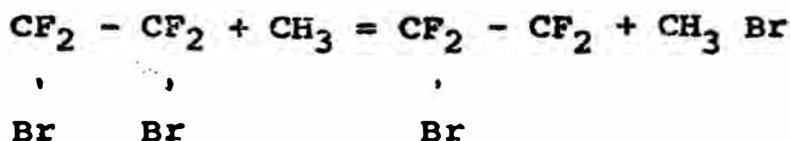
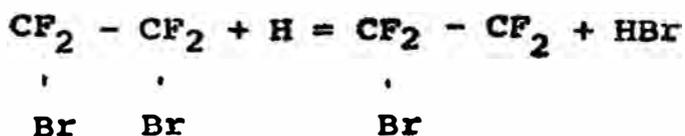
Esta efervescencia rápidamente tomaba una coloración negra (presumible el carbono del petróleo) y formaba una capa impermeable y compacta, que servía como fuente de recepción al petróleo líquido que fluía del prill sometido al calor radiante. A manera de experimento se utilizó un extintor de gas carbónico de 5 lbs. y contra de lo que se creía hasta ese momento se produjo la extinción.

Ante el hecho, se repitió la prueba lográndose idénticos resultados. Se pasó a experimentar con agua atomizada y la extinción fue completa y muy rápida.

El empleo de polvo químico simple y posteriormente un producto halogenado, se logró el mismo resultado de una extinción total. Con relación al halogenado se utilizó el dibromotetrafluoruro de carbono por ser el más conocido en nuestro medio como Fluobrene, - que actuó sobre las radicales responsables de la sucesión cíclica del proceso de combustión. En nuestro caso los hidrocarburos emiten los 3 compuestos de gases.



Al aplicar el  $\text{C}_2\text{F}_2\text{Br}_2$  sobre estos productos de combustión se obtiene los siguientes resultados.



que se traduce consiguientemente en una sustracción continua de los radicales útiles para la propagación de la combustión. Puesto que la velocidad de reacción de la combustión es una función-exponencial del número de los radicales según la siguiente expresión.

$$v = f (r)^n \quad (r = \text{radicales})$$

se deduce que también la destrucción de pocos radicales influye sensiblemente sobre la velocidad, bloqueando la combustión del petróleo en fracciones de segundo.

La separación de bromo de la molécula resulta facilitada por el hecho de que su energía de unión con el carbono es comparativamente la más baja (66.8 Kcal), con referencia a las otras uniones. El radical resultante después de la pérdida del bromo, es de naturaleza muy estable en razón de la elevada energía de unión del fluor con el carbono (101 Kcal), y el alto contenido del fluor hace muy compacta su estructura; estas dos características químicas limitan considerablemente su destrucción en contacto con la llama reduciendo el peligro de que se formen productos secundarios de naturaleza tóxica.

En vista de lo acontecido se efectuó una prueba a escala en el laboratorio. En un vaso de vidrio a prueba de temperatura se realizó la combustión de 250 gramos de ANFO. La prueba demostró lo siguiente:

- a) El incendio de ANFO sin otro material combustible adicional, es únicamente la combustión de petróleo ligeramente activada por los gases que contienen oxígeno proveniente del NA.
- b) La penetración vertical y el avance horizontal de la combustión es sumamente lento.

- c) El motivo que los extintores antes citados actuaron, se debió a que únicamente se actúa contra petróleo, el cual es suficientemente conocido y su extinción muy simple cuando el área no es muy grande.
- d) Si colocamos, madera, papel, o cualquier sólido combustible, la dificultad se agrava pues es necesario llegar con el producto extinguiendo al corazón del fuego dado que este sirve como propulsor a los gases inflamables provenientes del petróleo.
- e) Si el ANFO, no contiene material combustible sólido o metales que mantengan el calor de combustión su sofocación superficial es inmediata.
- f) Los extintores son apropiados para detener la combustión, siempre y cuando el área de esta no sobrepase su rango.
- Siendo lo más apropiado, el agua de alta penetración tanto por su efectividad como por su bajo costo. El polvo químico con base amoniaco puede ser una de las alternativas sugeridas, recomendándose el empleo primero del PQ, para evitar su propagación y crear un escudo térmico y posteriormente el empleo de agua para la sofocación final de la posible brasa.

2) Con respecto al artículo 196,, es preciso hacer algunos comentarios. Se demuestra fácilmente que el nitrato de amonio tal como viene comercialmente no es posible encenderlo, por ningún medio común. Se utilizó fuego directo, aumento gradual de

temperatura sobre plancha y soplete. En los 3 casos este producto se fundió pero en ninguno de los casos se inflamó o inició ningún tipo de combustión. Para mayor claridad el artículo debe referirse al motivo de su almacenamiento aislado y es que el nitrato de amonio, puede incrementar la intensidad del fuego de otros materiales encendidos y que sometido a presión puede encenderse tal como verá más adelante. Se debe especificar alturas de ruma máximas previo estudio técnico. Lo que si es evidente por experimentación altamente tecnificada, fuera del alcance económico de este trabajo, es que el nitrato de amonio puede encenderse bajo condiciones de fricción mecánica producida por la presión de una gran ruma.

Es en estos casos que la ignición se puede presentar en el centro de la pila de NA, y allí si existe el peligro de detonación. Si la ignición no se produce en el centro de la ruma no existirá explosión. Esta es una aseveración del Bureau de Minas que ha estudiado el problema.

De los siniestros causados por el NA, podemos sacar algunas conclusiones:

- a) El caso de la explosión del barco "Texas City" ocurrido el 16 de Abril de 1947, involucró NA, pero este era de procedencia orgánica y difiere substancialmente en su combustión del nitrato de amonio fabricado hoy en día.

Este desastre originó la actual reglamentación:

b) En la mina NORTON, hubo una fuerte explosión originada por 30 minutos de combustión de una ruma con 30 toneladas de ANFO y 20 toneladas de NA no sensibilizado. Este desastre confirma la afirmación de que no debe existir grandes amontamientos del producto. No siendo la causa del desastre las pequeñas explosiones de los gases de petróleo atrapados entre los sacos, pues estos no tienen la fuerza de iniciar la detonación del ANFO ni del NA; según el Bureau de Minas las causas obedecen a otras razones en estudios.

3) El artículo 199 que manifiesta que el ANFO es muy inflamable no es cierto. Para las pruebas de extinción era necesario encenderlo primeramente y esta operación ofrece mayor dificultad que el encendido de solamente petróleo. Sus posibilidades de encendido por accidente puede ser considerados como remotas pero aún así debe contarse con equipo adecuado contra-incendio.

4) Con relación al artículo 200, el almacenaje en anaqueles de madera es totalmente improcedente. Anteriormente se ha manifestado que un combustible que concorra a la combustión mantiene el suficiente calor, como para permitir sostener el proceso... Es por este motivo que se difiere de la opinión vertida en el reglamento del sector minero. Conociendo el medio y el pro

ducto a través de varias pruebas. se deduce que es preferible su almacenamiento en pozas de cemento sobre una cama de tubos de fierro con lo que se obtienen las siguientes ventajas:

- a) Una mejor distribución y almacenamiento en lotes de 300 Kgs.- (6 bolsas) o menos.
- b) La posibilidad de aislar posibles incendios
- c) La utilización de rociadores del tipo manual que por su bajo costo, los hace funcionales son los más indicados para labores subterráneas en áreas de polvorines principalmente con los que se puede conseguir inundación.
- d) El empleo de parrillas de fierro con base anticorrosiva, pero sin usar terminación de pintura con base de caucho, lograremos un doble propósito, aislar el producto del suelo, que pueda tener humedad y no contaminamos el área con material inflamable. Es necesario anotar que el reglamento del sector minero especifica en su artículo 129 que si el almacenamiento de explosivos es en el piso, este deberá ser entablado; en caso contrario el piso no necesitará ser recubierto y el almacenamiento podrá ser hecho en Anaqueles de madera, espaciados según la dimensión de las cajas. Lo curioso del caso es que en el artículo 134, del mismo reglamento prohíbe la presencia o proximidad a los polvorines de productos inflamables tales como maderas.

Siendo necesario localizar la distancia mínima entre un almacén de explosivos y un área de tránsito recurrimos a la tabla del Instituto de Productos de Explosivos Americanos, recomendada para almacenes principales que cuesten con barricadas.

Libras de Explosivos más de            menos de		Distancia de almacena miento confinado a zo na de tránsito, en pies	Separación de las rumas en pies
2	5	30	6
5	10	35	8
10	20	45	10
20	30	50	11
30	40	55	12
40	50	60	14
50	75	70	15
75	100	75	16
100	125	80	18
125	150	85	19
150	200	95	21
200	250	105	23
250	300	110	24
300	400	120	27
400	500	130	29
500	600	135	31
600	700	145	32
700	800	150	33
800	900	155	35
900	1000	160	36
1000	1200	170	39
1200	1400	180	41
1400	1600	190	43
1600	1800	195	44
1800	2000	205	45
2000	2500	220	49
2500	3000	255	58
3000	4000	275	61
5000	6000	295	65
6000	7000	310	68
7000	8000	320	72
8000	9000	335	75
9000	10000	345	78

- NOTA: 1) Este cuadro comprende toda la gama de explosivos comerciales.
- 2) Es posible aplicarlo a fulminantes menores del número 8 considerando 1,000 capsulas como 1.5 lbs.de explosivos.
- 3) Se entiene por confinamiento la construcción de dos paredes paralelas levantadas con no menos de 3 pies de separación entre si relleno el espacio con tierra. Las paredes deben ser de concreto, conformando una barricada.
- 4) Si no se cuenta con este tipo de barricadas, la distancia debe ser doblada.

### 5.3. SOLUCIONES AL PROBLEMA

Teniendo en cuenta lo manifestado en este capítulo, tan importante como mantener un equipo correcto para el control de fuegos en ANFO es la prevención de su combustión. Es posible dar ideas generales que pueden ser aplicadas con ligeras variantes en los distintos almacenes de este producto. Las variantes serán pues condicionadas a la cantidad del producto a la forma y dimensiones del almacén y a la disponibilidad de medios con que se cuente.

Como prevención podemos citar las siguiente pautas:

- a) No almacenar el ANFO en rufas de más de un metro de altura.

Hay que evitar todo lo que sea presión de compresión pues genera calor la fricción mecánica de los prills.

b) Evitar grasas en el área dado que pueden producir autocombustión al oxidarse sobre papel, tela, etc.

c) Cuidar que en ningún momento la temperatura del ANFO en cualquiera de sus partes sobrepase la temperatura de gaseo. Esta es posible calcularla a partir del tipo de petróleo a usar.

Dado que el Diesel N° 2 es un derivado complejo con una variedad de compuestos volátiles es necesario calcular su temperatura de gaseo para ese petróleo que vamos a usar, dado que -- las variaciones son significativas en algunos casos. El procedimiento es simple y nos da un margen bastante cercano. Todo el proceso se basa en averiguar la temperatura de ebullición haciendo hervir el petróleo que se quiere determinar.

Es necesario determinar la temperatura apenas empieza el burbujeo.

En tres muestras de diesel N°2 se obtuvieron un promedio aritmético de 375° F (190°C) y se aplica la fórmula:

$$T. \text{ ignición} = 0.64t - 100$$

donde  $t$  = es el promedio de la temperatura del inicio de ebullición.

Al reemplazar datos tenemos:

$$T_{\text{ignición}} = 0.64 (375) - 100 = 140^{\circ}\text{F} = 60^{\circ}\text{C}$$

Quiere decir que la temperatura que empieza a gasear, y puede encenderse, está para ese petróleo a los 60°C, y a partir de ese momento el riesgo es crítico y puede sobrevivir la ignición a la menor chispa. Es posible tener petróleos que gasean a los 38 °C (100°F).

d) Evitar llamas abiertas, tomacorrientes e interruptores eléctricos en la bodega, estos deben estar situados fuera del área de almacenaje, y los cables conductores deben ser blindados. Evitar chispas y desecadores de ambientes, pues estos permiten la carga de corriente estática en las ropas.

En adición a estas precauciones, se deben tener planificado un adecuado sistema contra incendio, que de producirse, se pueda combatir rápida y eficientemente.

Se ha observado que un sistema mixto sería lo más adecuado para el área de almacenamiento de ANFO. Para conatos o amagos de incendio, es posible trabajar con extinguidores portátiles a). Y si este toma cuerpo, se podría entrar con el sistema fijo (b)

a) el campo de los extinguidores portátiles adecuado al ANFO, como anteriormente se ha manifestado es amplio, y la decisión de la alternativa a seguir está en función-

de varios factores que se tratarán a continuación.

**Area del depósito.** Determina en primera instancia el rango del extinguidor a usar. Sabemos que un producto, tales como el polvo químico, no es posible sumar sus rangos, y si el área del depósito es mayor que el rango del equipo este debe ser descartado, no ocurriendo así con los ignífugos permanentes como es el caso del agua.

**Turno de trabajo.** En algunos almacenes no existe personal estable, y esto es justificado en la mayoría de los casos dado que en los almacenes de ANFO, no se tiene otros productos. Prácticamente el problema es más complejo, dado que es muy difícil encontrar la combustión en su fase primaria, y generalmente cuando es detectada, se debe al humo que ya ha invadido el área, siendo peligroso entrar en la zona, y es allí necesario la instalación de un sistema fijo.

**Situación del depósito.** La localización geográfica del depósito dentro las labores mineras es importante. Se debe tener en cuenta la dirección del flujo de ventilación.

Es recomendable que si va a instalarse un almacén de ANFO, se le ubique a este, en un área que desemboque a galerías por las cuales el aire circule en dirección al exterior, - es decir el aire ya trabajado. Si por el contrario el al-

macén está situado sobre galerías de ingreso de ventilación, cualquier problema de gases inundara la mina con ellos. Resulta a veces más costoso invertir la dirección del flujo, que cambiar de sitio el almacén. Un desprendimiento de gases con dirección hacia las labores más profundas, exige una actuación más enérgica que el solo empleo de extintores, debiendo complementarse con alguno de los sistemas fijos descritos más adelante.

b) El sistema fijo a utilizarse puede ser de varios tipos. Es entre esta variedad de sistemas, que se selecciona al adecuado para la extinción de la combustión:

b - 1: Sistema Sprinkler automático

b - 2: Sistema Sprinkler manual

b 3: Inundación de CO<sub>2</sub>

b - 4: Sistema de extinción por espumas

b - 5: Sistema extintor automático

b - 6: Mangas contra incendios.

b-1) Sistema Sprinkler automático. Constituye uno de los adelantos más modernos como sistema de control de incendios.

Básicamente está constituido por una válvula sellada con una aleación muy sensible al calor. Cuando la temperatura actúa sobre el conjunto se funde la aleación permiti --

tiendo la salida del agua, que al pasar por un dispositivo dispersor, la convierte en lluvia, abarcando un área de acción. La idea del sistema data desde 1860, pero es recién en el año 1878, cuando se instala el primero de estos sistemas en los EE.UU, además su eficiencia es importante el factor psicológico de seguridad que brinda tanto al personal que trabaja en el área como al responsable de la seguridad. Para reconocerlos rápidamente son pintados con colores convencionales.

Rango	Color	Temperaturas de operación °F
Ordinario	Metálico	135°, 150°, 150° y 165°
Intermedio	Blanco	175° y 212°
Alto	Azul	250°, 280° y 286°
Extra Alto	Rojo	325°, 340°, 350° y 360°
Especial	Verde	400° y 415°
Extra Especial	Naranja	450° y 500°

Presente ventajas realmente importantes pero su instalación requiere determinadas características que deben ser contempladas económicamente. Necesita para su operación una presión constante en la línea dada por un tanque elevado, un tanque hidro-neumático o una bomba hidráulica con sistema de control de presión.

Esta presión debe ser 75 Psi. como mínima presión inicial para el caso del tanque elevado y el tanque neumático, La bomba hidráulica mantiene la presión óptima todo el tiempo.

El cálculo hidráulico no es realizado dado que las variantes que intervienen son numerosas y no constituye el objetivo del trabajo.

Como referencia para el caso de los tanques hidro neumáticos, es necesario realizar un pequeño cálculo para determinar la presión inicial, teniendo en consideración que la presión final no debe ser menor a 15 Psi. El volumen de aire en el tanque varía inversamente con la presión.

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1} \quad (\text{Presión absoluta})$$

$P_2$  = Presión residual requerida + presión atmosférica

$$P_2 = 15 + 15 = 30 \text{ Psi.}$$

En estas condiciones el volumen final es solamente aire.

$$V_2 = 1$$

Para trabajos con Sprinkler, el tanque debe estar lleno de agua en los 2/3 de su capacidad, luego de aire tendrá 1/3.

$$V_1 = 1/3$$

$$P_1 = P_2 \times \frac{V_2}{V_1} = 30 \times \frac{1}{1/3} = 30 \times 3 = 90 \text{ Psi.}$$

Luego, corresponde a lecturas manométricas de 75 libras y 15 libras lleno y vacío respectivamente.

Los elementos utilizados en las aleaciones para optimizar su fusibilidad son principalmente el zinc, plomo, cadmio y

bismuto. La mezcla de dos o más de estos elementos dan el más bajo punto de fusión requerido, denominado también punto eutéctico. La mayoría de los sprinklers automáticos operan con este sistema aunque también los hay con un bulbo de vidrio a manera de tapón que tiene un líquido y una burbuja, al subir la temperatura el bulbo se rompe permitiendo la salida de agua.

b-2. El sprinkler manual no es otra cosa que un sistema dispersor instalado sobre el área a proteger, su costo es muy reducido y su eficacia muy alta. Es por este motivo que lo hace deseable para proteger almacenes de ANFO.

No necesita presión constante en la línea y requiere un operador para funcionar. No es recomendable las perforaciones en la tubería en vista que es difícil obtener buena dispersión. La presión en la línea debe estar sobre los 25 Psi. siendo su óptimo en los 75° Psi. La altura de instalación de los rociadores está en función del caudal presión y área a protegerse. El empleo de boquillas rociadoras expendidos en ferreterías para higiene corporal son muy usadas.

#### b-3 Inundación de CO<sub>2</sub>.

Este método es apropiado para áreas confinadas que pueden recepcionar el gas creando una atmósfera inerte. Básicamen-

te el sistema consta de un tanque o batería de cilindros de CO<sub>2</sub>. las cuales descargan mediante toberas o difusores en el área con finada. Para labores subterráneas presenta las siguientes limitaciones.

- Esta prohibida por el artículo 238 del reglamento vigente
- Presenta una baja capacidad de enfriamiento con respecto al agua.
- Siendo un ignifugo temporal puede reiniciarse la combustión.

#### b-4 Sistema de extinción por espumas:

Básicamente se trata de inyectar espumas tanto de origen mecánico como de origen químico en el área a proteger.

Las de origen mecánico puede ser producidas por inyector de aire comprimido (baja expansión) con las que se logra un mayor alcance efectivo, pero se cubre menor area o en su defecto pueden generarse mediante sopladores (blower) con las que se generan espumas de alta expansión, que cubren mayor área pero tienen menor alcance en proyección parabólica. Su instalación es más efectiva, pero por razones de costos, para problemas sobre material sólido es preferible usar el sistema de agua, ya que si el material a proteger estuviese en un plano horizontal la espuma lo cubriría fácilmente como es el caso de líquidos combustibles, pero como es practicamente imposible esto, la espuma se concentra en puntos de menor altura (suelo) en donde generalmente no está sucediendo la combustión. El sistema puede ser automático o manual.

**b-5 Sistema extintor automático**

Pese a su relativamente nueva introducción en nuestro medio sus posibilidades de aplicación son excelentes. En principio consta de un tanque receptor del ignifugo, al cual está instalado un manómetro y una válvula térmica. El primero controla la presión de operación del equipo, y el segundo aditamento, sensible al aumento de temperatura pone en funcionamiento el equipo - al fundirse el sello eutéctico al iniciarse alguna combustión, en el área de influencia.

Lo atractivo del sistema es que el recipiente puede ser cargado con distintos ignifugos, dándole esta característica - gran adaptabilidad al área por proteger. Así es posible utilizar halógenos, polvo químico, agua, etc. creando una forma de protección deseable para zonas potencialmente peligrosas en las que el personal no está permanentemente..

**b-6. Mangas contra-incendio.**

Constituye el sistema clásico, para fuegos de magnitud, En áreas restringidos como es el caso de almacenes subterráneos, presenta ciertas limitaciones que deben ser cuidadosamente evaluadas antes de optar por este sistema. Entre ellas una de las más significativas la constituye la altura de la labor, dada la trayectoria parabólica que toma el chorro de agua al salir de la boquilla del pitón.

Es necesario tener muy claro este concepto al pretender instalar una red de agua contra incendio en labores subterranas en pruebas efectuadas en la mina Bruceton se llegó a las siguientes conclusiones:

Características de la prueba

Hidrante con salida de 1 1/2" de  $\emptyset$

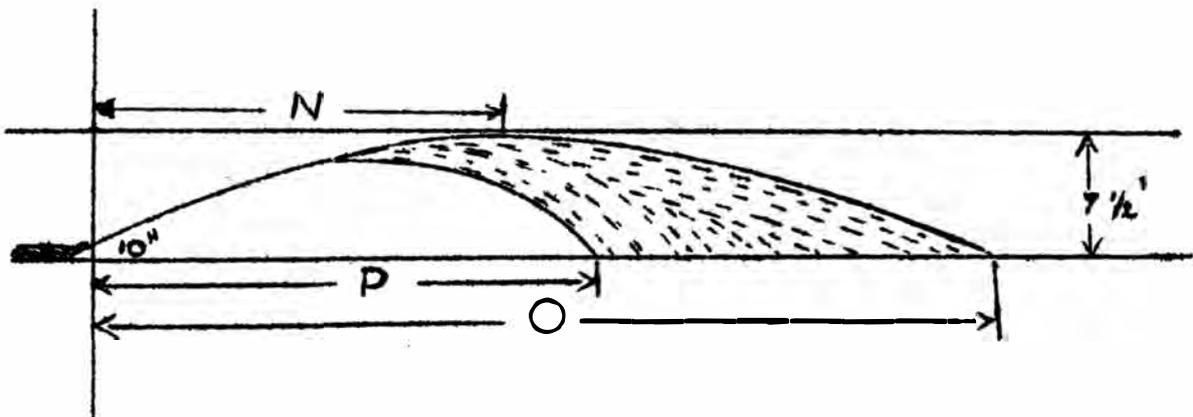
Manga de 1 1/2" de jebe de 50 pies de longitud

Altura de la labor 7.5 pies (2.28 mts)

Pitón con salida regulable de 0.5 a 0.75 pulg. de diámetro

Altura del pitón con respecto al suelo 10 pulg.

Angulo del pitón con respecto al suelo + 32°



encontrándose las máximas trayectorias en el siguiente cuadro:

<u>Presión en el hidrante Psi.</u>	<u>Diámetro del pitón pulg.</u>	<u>N</u>	<u>P</u>	<u>O</u>	<u>Caudal galones/min.</u>
10	0.5	18.5	31	37.5	23.25
10	0.75	15	26.5	32	48.25
15	0.5	23.5	35.5	47	28.75
15	0.75	20	31	41.5	58.75
20	0.5	27.5	38.5	54	33
20	0.75	24.5	33.5	49.5	66.25
25	0.5	31	40.5	60.5	37
25	0.75	28	35	56	73
30	0.5	33.5	41.5	65.5	40.25
30	0.75	30.5	36	61	79.25
35	0.5	35	42	70	43
35	0.75	32.5	36	64.5	85
40	0.5	36	42	74	45.5
40	0.75	34	36	68	90.5

Tenemos pues en esta alternativa algunas desventajas sobre el sistema Sprinkler y es que necesariamente el operador debe acercarse al lugar en combustión y si por desconocimiento del operador rompe bruscamente el equilibrio térmico del área la cantidad de humos producidos lo obligan a salir rápidamente haciendo ineficiente el sistema, es decir que básicamente no es problema echar agua sobre el fuego, si no más bien saber como distribuirlo en el área para bajar poco a poco la temperatura y recién en ese momento atacar directamente la combustión. Si no se tiene personal entrenado no se recomienda el sistema.

## C A P I T U L O VI

### OTROS POSIBLES INCENDIOS EN LA MINERIA

#### 6.1. POLVORINES, ALMACENES Y MAESTRANZA

Estos tres lugares constituyen lugares que involucran de terminado riesgo en su operación. Este estudio no contempla los incendios en piritita ó en minas de carbón. Sobre estos dos puntos existe suficiente literatura y sus sistemas de extinción se basan en el bloqueo estanco de la galería y posterior inundación del área.

Así pues, el estudio se centra principalmente en fuegos de menor área pero potencialmente muy peligrosos.

El fuego en estos lugares puede tener varios orígenes, tales como autocombustión, corto circuito, chispas de fricción, calentamiento de equipos, alta frecuencia, colillas y fósforos, etc.

Necesariamente cada lugar de la mina presente determinadas características potenciales de incendio y ellas están en función del volumen y combustibilidad del material, estas condiciones son las que determinarán el sistema a emplear, pero hay que tener en cuenta que la forma de ataque es muy distinta en superficie que en el subsuelo las condiciones físicas son muy distintas y lo que se haga en el interior de la mina va a repercutir -

directa e inmediatamente, sobre el operador, y especialmente sobre la cuadrilla de rescate.

Existe un método aplicable a lugares confinados que se base en un ataque indirecto apropiado a polvorines que no contengan ANFO, pues este explosivo si exige ataque directo.

Para polvorines que contengan explosivos de alto poder, si el fuego es incipiente el ataque directo con los medios previstos (extinguidores) es adecuado, pero si este ha tomado cuerpo, los gases emanados, el calor radiante y la posibilidad de explosión está presente; si no contamos con un sistema fijo, y no es posible aislar la zona rápidamente volviéndola estanco, el método de ataque indirecto es lo mas recomendable.

Este se basa en la facilidad de evaporación del agua, que en su fase gaseosa es transparente y permanece en ese estado hasta que se inicia el procedimiento de la condensación, que ya sabemos resulta de la pérdida del calor y a medida que este procedimiento progresa; lo que antes era vapor se presenta ahora como una neblina visible.

El principio puede exponerse de la manera siguiente:

- a) La rápida generación de vapor dentro de un espacio confinado produce una perturbación atmosférica dentro de ese espacio.

b) Cada pie cúbico de vapor generado dentro de un espacio confinado exige un pie cúbico de ese espacio atmosférico.

Estos principios asumen que la acción de enfriamiento del agua, aplicada en la forma de partículas físicamente divididas, al nivel superior (hacia el techo de la labor) del espacio confinado internamente recalentado, resulta en la rápida generación del vapor, lo cual produce una perturbación atmosférica de fuerza suficiente para esparcir las partículas sin evaporar por toda el área, las que se ponen en contacto con los materiales recalentados más allá de la combustión refrigerándolos, e impidiendo su avance al proceso, contribuyendo a acentuar la perturbación atmosférica.

Se ha observado que esta acción continúa hasta que la temperatura de las superficies se ha reducido a cerca de 100°C. La rápida generación de vapor aumenta la presión atmosférica, pues cada pie cúbico de vapor exige un pie cúbico de espacio atmosférico y rápidamente se igualan presiones, por lo que al integrante de la cuadrilla o brigada de emergencia que esté desprevenido ó desconozca el principio recibirá una corriente de aire recalentado de graves consecuencias para su integridad. Es por eso que antes de rociar agua en lugares confinados deben protegerse al personal con el equipo de protección adecuado y no estar en el centro de la sección de la galería, siendo las partes bajas las

mas frescas. El movimiento principal del humo y vapor es hacia arriba y con dirección a la cara libre del lugar.

La efectividad del ataque podrá apreciarse sin dificultad, por la expulsión del humo, seguida de una mezcla de humos y vapor condensado, tendiendo el humo a desaparecer. La reducción del volumen del vapor condensado siempre que no haya habido ninguna interrupción o reducción en volumen por minuto del agua que se está inyectando, es indicación definida de que una importante parte del calor excesivo dentro de la labor problema irá hacia otras áreas con salida directa al exterior. La canalización del flujo de gases debe hacerse por medio de barricadas o puertas cuya instalación debe iniciarse simultáneamente con el ataque al fuego por parte del personal de la cuadrilla para de esta manera evitar el gaseo total de la mina.

Para el empleo del sistema de ataque indirecto es necesario tener presiones en la boquilla comprendidas entre los 100 psi y 125 psi (7 y 8.8 Kg/cm<sup>2</sup>), para obtener niebla de alta velocidad de buen grado de fineza conjuntamente con un alcance suficiente.

Para el uso de extintores portátiles que como se ha manifestado es para fuegos incipientes, el operador debe estar en el nivel más bajo posible y al acercarse colocar el equipo delante de él a manera de escudo, para protegerse del calor radiante.

En caso de incendio en locales de superficie tales como el almacén y maestranza, la rotura del equilibrio térmico no es tan importante siempre y cuando se de la espalda al viento, se ataca desde afuera del local, es factible utilizar el mismo principio de ataque indirecto para fuegos de magnitud si se usa manguas de agua; en caso de Sprinklers es allí donde se prueba la -- certeza del diseño, es decir su distribución y potencia de descarga. En el caso de extintores portátiles necesariamente hay que entrar, siempre y cuando la magnitud que se presenta está en los rangos del equipo.

Otros aspectos de interés para la proyección de polvorines, almacenes, bodegas, depósitos etc., tal como esta especificado en los artículos 297 y 298 del Reglamento de Bienestar y Seguridad Minera, es blanquear esos lugares con el fin de mejorar la visibilidad, al respecto es necesario conocer la existencia de pinturas ignifugas, que forman resistentes capas espumosas aislantes evitando la existencia del fuego tanto en superficie como en profundidad de los combustibles sólidos. Mediante sucesivas pruebas efectuadas experimentalmente con fines de factibilidad de aplicación y eficiencia de la pintura, se llega a conclusiones altamente satisfactorias, deducidas de las pruebas que más adelante se indican.

Con estas conclusiones, es posible afirmar que la mencionada pintura ignífuga es una arma eficaz en el control de fuegos incipientes dada su virtud de actuar en determinados casos como un pequeño extintor (Si el fuego incipiente esta localizado en la base de una madera vertical pintada con esta pintura ignífuga, esta fluye hacia él y lo apaga). Su principal virtud es que hace incombustible el material pintado con ella.

## 6.2. MÉTODOS DE ATAQUE AL FUEGO

En principio, el método a emplear es producto del rápido análisis de la situación. Para fuegos subterráneos este es necesariamente distinto que en los originados en superficie. Dentro de la labor minera tenemos factores limitados que se deben estimar al entrenar al personal, uno de ellos es el espacio físico con que se cuenta. Dado que por lo general, cuando se almacena en el interior de la mina se busca lugares que no entorpezcan las operaciones, casi siempre se encuentran localizados estos depósitos en estocadas de una galería principal, que por lo general no tiene más de 2 mts. de ancho, originando esto una labor cómoda para un solo hombre o dos como máximo. Lógicamente en estos casos no podemos hablar de ataque cruzado o envolvente y nos limitamos a la acción frontal, con la variante denominado cadena de protección. Este planteamiento, manifiesta que en zonas de escasa aereación y baja visibilidad la acción debe desarrollarse

en cadena sin perder de vista al compañero inmediato, de forma tal, que de sufrir algún percance es socorrido de inmediato. Está demás decir que los autorespiradores es equipo normal de la cuadrilla.

Para los casos de superficie, es necesario establecer métodos, diagramas o posiciones de acercamiento al fuego. Lógicamente es imposible implantar un único sistema ya que este debe tener la flexibilidad necesaria que se adecue a la situación, número de personas y cantidad de equipo. El que mejores resultados ha dado hasta el momento es el sistema "V", para extintores portátiles que se forma con tres hombres, dos de ataque en las puntas y un tercero en el vértice (mas alejado del foco) cubre a sus dos compañeros (Sin intervenir al comienzo). Cuando se emplea equipo de poder o fuerza turbulenta en la descarga, como es el extintor de polvo químico, este trabaja, si existe un cuerpo vertical (pared, ruma, etc) de la misma forma de una pelota de jebe lanzada contra el suelo muy cerca de la pared, rebotando primero en el suelo, luego en la pared y regresa al lanzador. Así trabaja el polvo químico cuando se lanza en un angulo de rebote, con el agravante que le cae al operador del equipo arrastrando gases encendidos. Para contrarrestar este efecto es recomendable que la primera descarga sea describiendo el movimiento de la letra "C" empezando en la parte inferior. El movimiento descrito -

sería; cortar la parte inferior y dominar la turbulencia superior que se le acerca al operador. Una vez efectuada esta maniobra el siguiente movimiento es de abanico con acercamiento.

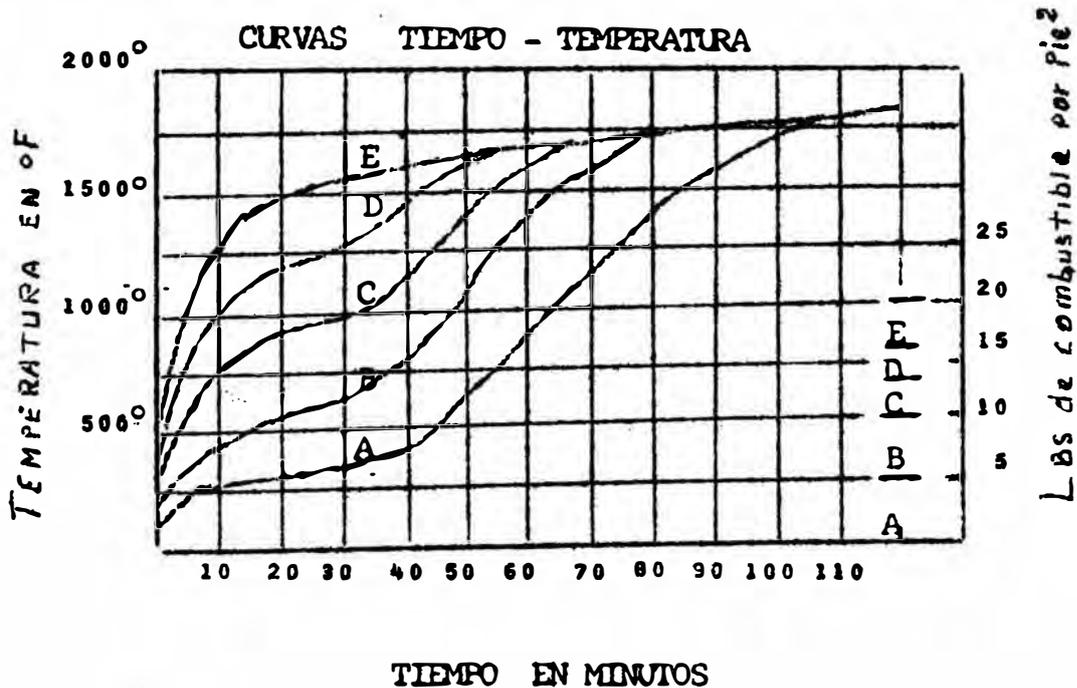
El calor deja de sentirse por lo que un operador no entrenado es posible que ingrese demasiado si no tiene el concepto de tiempo de descarga, y se le termina el contenido del equipo y puede verse rodeado de llamas ante una súbita re-inflamación del área. Es por eso la idea de un tercer hombre de protección, el cual interviene casi al final de la actuación de los otros dos, entrando a proteger su salida y retirándose con ellos con el extintor funcionando en todo momento.

Para los casos de usos mangas contra-incendio, el equipo básico es también de 3 hombres, uno en el pitón otro inmediatamente detrás que controla tanto la manguera como el techo por si presenta signos de desplome.

El tercer hombre está en la bomba si la hubiese o controlando el nivel de agua del tanque de presión o de gravedad, según sea el caso.

Si el sistema es con Sprinkler, basta con abrir la llave y es de esperar que el diseño de distribución sea adecuado. Es posible ayudar algo al sistema, pero el humo, vapor y gases que generan hacen imposible entrar sin protección especial.

Para tener una idea de la temperatura probable que se puede esperar de un incendio de por ejemplo el almacén, mercantil, etc., se presenta un cuadro de la NFPA para locales que contengan determinada cantidad de libras de algún material combustible por pie cuadrado de área del local. Se puede ver claramente cual es la importancia del tiempo en este tipo de incendios.



Asi por ejemplo, si tenemos 7 libras de combustible por pie cúbico, sobre la derecha del cuadro podemos ver que estamos en la escala B de severidad. Suponiendo 15 minutos de incendio podemos esperar una temperatura interior promedio de 500°F.

### 6.3. DISCUSION TECNICO-ECONOMICA

Es interesante efectuar una apreciación económica aplicada a una mina de mediana envergadura de los principios y normas que se han presentado en el desarrollo de los capítulos presentados.

Todo estudio de seguridad debe estar sustentado en consideraciones económicas de forma tal que sea rentable a la compañía la aplicación del proyecto de seguridad.

El estudio económico debe abarcar tres aspectos fundamentales que son:

- a) Probables pérdidas por incendio. En soles
- b) Costo de instalación del sistema (Extintores, sistemas fijos Sprinklers, entrenamientos, etc.)
- c) Tasa de reducción en primas de seguros contra incendios y líneas aliadas.

En el cálculo de probables pérdidas económicas por incendio entran los siguientes factores:

Condición o riesgo.	{	Incendio y explosión	Pérdidas materiales
		Explosión e incendio	Pérdidas personales
			Paralización
			Indemnización
			Lucro cesante

No existe ninguna norma o fórmula aplicable a todas las condiciones de los distintos lugares de trabajo de una unidad minera. Tampoco es dable calcular económicamente para todos y cada uno las probables pérdidas causadas por un incendio. Lo usual es realizar el estudio sobre el lugar de más alto riesgo en donde exista la mayor concentración de valores. Podría pensar que casi siempre se trata de almacén o del polvorín principal, pero es posible que a juicio del Ingeniero de Seguridad este lugar sea la galería principal de extracción cuyo sostenimiento es a base de postes de madera, y un incendio en este lugar originaría el derrumbe de la galería impidiendo la extracción por un determinado tiempo paralizando las labores mineras con la consiguiente pérdida económica.

Una vez determinado el lugar crítico, (pueden ser dos o mas), se analiza que tipo de riesgo podemos esperar. Un incendio únicamente, o es factible que este origine una explosión por concentración de gases o recalentamiento de sustancias combustibles confinadas. La otra posibilidad es la de explosión seguida o no de un incendio en el área. Aunque la diferencia podría parecer no significativa, resulta para el estudio económico a efectuarse, la base primordial.

Si las posibilidades se inclinan por un incendio inicial entonces es posible instalar en el lugar equipo contra-incendio-

y rebajar las primas del seguro hasta un 35%, pero para conseguirlo se debe demostrar a la compañía aseguradora que se cuenta con extintores, sistemas fijos, personal entrenado, etc.

En cambio si se prevee una explosión, resulta muy difícil y costoso poder rebajar las primas. Ambas posibilidades pueden abarcar uno o más de los aspectos planteados anteriormente. El concepto pérdidas materiales está constituido tanto por el valor real del bien como por la facilidad de restituirlo o sustituirlo que en la mayoría de los casos no es material o producto manufacturado en la región.

Dentro del rubro de pérdidas personales, es a veces posible anticipar el número de posibles víctimas en relación directa con la cantidad de personal en el área. Lo que no es posible es predeterminar la magnitud de los daños físicos en el persona, teniendo los incendios en superficie menor importancia que un incendio subterráneo y ambos menor severidad relativa que una explosión.

Por paralización, entendemos la detención de la actividad económica, siendo su reanudación inmediata sin mayores consecuencias. Por ejemplo el incendio localizado a tiempo es dominado con el equipo extintor portátil y el trabajo es inmediatamente reanudado.

Los accidentes de magnitud necesariamente conllevan indemnizaciones las que parcialmente son aportadas por la Compañía, correspondiéndole al Seguro el resto.

Si se considera que el percance que pudiera ocurrir podría tener consecuencias de detención temporal de la actividad económica, con la consiguiente pérdida por merma en la producción el seguro a tomarse es por lucrocesante. Si el riesgo de detención de la actividad económica es por incendio, entonces es posible rebajar las primas del seguro.

Con respecto a los costos de los equipos contra-incendio descritos en esta tesis, el mercado presente los siguientes precios:

Extintor de agua presurizada; 2.5 gal.	\$/	3,200
Extintor de Gas Carbónico; 15 libras		4,000
Extintor de Polvo Químico; 30 libras		3,800
Extintor de Polvo Químico; 12 libras		2,500
Extintor de Halón 2402; 15 libras		4,100
Sprinkler automático		1,600
Sprinkler manual (dispersores)		420
Motobomba portátil 125 gpm. 100 psi		90,000
Paño de manga 75 pies y 1.5 pulg.		6,000
Extintor automático térmico; 10 libras PQ		7,000

Existen algunas consideraciones importantes que se deben tener en cuenta además del costo real del equipo a adquirir. Ellas

pueden resumirse de la siguiente forma:

1. El extintor de polvo químico presurizado es preferible en zonas apartadas dado que puede ser recargado en la propia mina, sin necesidad de recurrir a las tiendas recargadoras, y su control es visual por medio del manómetro.
2. Si la unidad minera está cercana a alguna ciudad que tenga el servicio de recarga, es preferible tener extintores de polvo químico con cartucho exterior, por presentar mayor índice de confiabilidad en condiciones normales de mantenimiento.
3. Es preferible descartar los extinguidores de polvo químico con cartucho interior, por ser muy caro el sello de rotura.
4. Si efectuamos cuantitativamente la comparación entre dos extintores de capacidades equivalentes por ejemplo de 15 libras tenemos: Polvo Químico \$ 2,600 y Halón 2402 o Fluobrene \$ 4,100, tenemos una diferencia de precios de \$ 1,500 que aparentemente hacen más deseable al extintor de polvo químico ; si proyectamos los costos de mantenimiento de ambos equipos a 5 años considerando que el 2402 no necesita recarga y si el polvo químico es de base estearatizada esta es anual, con un costo promedio de \$ 40 la libra de P.Q. Obtendríamos costos de mantenimiento de \$ 3,000 que supera en un 100% la inversión inicial.

5. Como costos de entrenamiento, interviene tanto el valor de las horas hombre empleadas como el costo del material consumido en el entrenamiento.

Anteriormente se manifestó que es posible rebajar las primas de los seguros hasta en un 35% de su valor. Sobre este punto cabe agregar que el seguro contra incendio y líneas aliadas tales como terremotos, conmoción civil (si se produce destrucción incendio intencional o pillaje durante una huelga autorizada) vandalismo (en huelgas declaradas ilegales) inundaciones etc. puede costar para una mina de tamaño medio entre los \$/ 300,000 y \$/ --- 1'000,000 o más. Esto equivale a poder esperar reducciones entre los \$/ 105,000 y \$/ 350,000.

Es este el dinero que se debe emplear en la compra del equipo contra incendio para la mina. Fuera de estas consideraciones cuantitativas o medibles en monedas, existen valores cualitativos que circunscriben dos aspectos principales:

-Recurso humano

-Recurso material

Como recurso humano, existe personal de difícil sustitución inmediata tanto por su especialización como por su antigüedad y conocimiento del cargo.

Como recurso material se debe evaluar lo reemplazable o sustituible de inmediato, y lo de difícil sustitución.

Estos aspectos no son evaluables por seguro, y dependen exclusivamente de la empresa. Es por eso que si bien el balance económico es favorable a la empresa al invertir en seguridad, los beneficios son por lo general mucho mayores.

Como primer paso práctico a darse en el programa de seguridad tiene que estar la planificación. Este primer punto debe abarcar:

- 3 cuadrillas de salvamento, compuestas por 10 hombres cada una de forma tal que se cubran los tres turnos de trabajo. Cada cuadrilla se dividirá en 2 brigadas de 5 hombres, distribuidas de tal modo, que si por ejemplo se tiene sector Norte y Sur o Niveles superiores o inferiores cada brigada completa preste sus servicios en un sector distinto.
- Instrucción completa y periódica para el personal de las cuadrillas. Esta instrucción es complementaria a rescate, primeros auxilios, etc.
- Ubicación y evaluación de áreas críticas o de peligro en las instalaciones mineras.
- Evaluación del equipo contra-incendio con que se cuenta y la posibilidad de adquisición más equipo.

Como segundo paso se debe contemplar dos aspectos:

- a) Instalaciones de Seguridad
- b) Condiciones de Seguridad

Denominaciones instalaciones de seguridad al conjunto de medios disponibles para anular una situación insegura; para nuestro caso puede ser el equipo contra-incendio, refugios, compuertas de ventilación, etc. Como condición de seguridad se entiende a las acciones tomadas con fines de prevención de situaciones de riesgo.

El personal que se dedica a la Seguridad debe incidir principalmente en la prevención de los problemas más que en estar preparados por si se presentan, es obvio que se deben tener equipo pero de un buen trabajo de planeamiento resulta que solo se le utiliza en simulacros de entrenamiento.

Entretanto el resumen global, para una mina mediana, legal y técnicamente, se recomienda tener:

- a) Almacenes, polvorines y bodegas protegidos con un sistema Sprinckler manual y además un extintor de polvo químico y otro de agua. Es posible que se permita el empleo de Halógenos.
- b) En bocaminas un extintor de polvo químico y otro de agua
- c) En la casa de fuerza, extintores halógenos o de CO<sub>2</sub>
- d) En la casa de bombas, winche, baterías etc. CO<sub>2</sub> y si están en superficie halogenados.
- e) Mangas contra incendio con boquilla de salida regulable y juego de niples de conexión apropiados a las tuberías de agua. Colocar hidrantes en los campamentos.

- f) En el equipo de radio, halogenados o CO<sub>2</sub>
- g) En vehículos de transporte halogenados CO<sub>2</sub> ó polvo químico

Se recomienda preveer mediante:

- a) Inspecciones periódicas de las instalaciones eléctricas.
- b) Inspecciones periódicas de los almacenamientos de material com bustible (siempre alternar un material combustible y un incom bustible) y no almacenar junto a las vías de acceso los prime- ros).
- c) Cefirse a las disposiciones y recomendaciones del Reglamento - de Seguridad Minero.
- d) Proteger los materiales combustibles fijos (Madera) con pinturas ignifugas que cumplen el doble propósito de mejorar la visibili- dad interior y hacer incombustible el material.

Las pruebas efectuadas sobre esta pintura ignifuga (Tha- nalith -Antiflama) dieron el siguiente resultado:

Un madero de pino de 1 pie x 1 pie x 1/2 pulgada, pintado por sus 6 lados fue atacado con soplete observándose un rápido am- pollamiento de la pintura y posteriormente es atravesado por - la llama del soplete; al retirarse esta, la madera no arde; co- sa que no sucedió con un modelo sin pintar del mismo material.

- Dos maderas contraplacadas de lupuma de 1 pie x 0.3 pie x 1/4" , pulg. de espesor, una pintada y la otra no, se colocan sobre fue-

go directo de una pira de madera.

El trozo sin pintar se consume y el pintado presenta ampollas en la pintura de más o menos 0.5 cms. de diámetro, pero no se enciende.

Se prende fuego en la base de un madero verticalmente enterrado por uno de sus lados, pintado con el producto ignifugo, se observa un lento deslizamiento de la pintura sobre el fuego - de la base apagándolo.

## C A P I T U L O VII

### 7.1. CONCLUSIONES:

1. Existe en la minería peruana en general, una actitud pasiva ante alguna de las disposiciones del Reglamento de Bienestar y Seguridad Minera.
2. El avance tecnológico actual en el campo de la Seguridad , ha derivado en la aparición de nuevos productos y sistemas que no han tenido difusión en el medio minero, dadas las condiciones especiales de habitar del minero, que en su gran mayoría residen fuera del centralismo capitalino.
3. Estos productos de baja difusión específicamente en el control de incendio son: Espumas mecánicas de alta expansión, productos ignífugos halogenados, sistemas fijos del tipo-Sprinkler y pinturas ignífugas.
4. Con las espumas mecánicas de alta expansión es posible lograr rápidas inundaciones en tramos de galerías. Por ahora se le emplea para control de fuegos en minas de carbón, pero pueden ser aplicados a otros tipos de yacimientos.
5. Los productos ignífugos halogenados tienen ya gran aceptación en otras industrias, que han evaluado las caracterís-

ticas de estos productos, que bloquean las cadenas de reacción. Constituyen el medio químico de ataque al fuego, que por su rapidez y eficiencia los hace deseables en lugares de alta densidad de valores por proteger.

6. El sistema fijo a base de Sprinkler, resulta el medio ideal para polvorines y almacenes; lugares que por su peligrosidad en un caso y concentración de valores en el otro preocupan al responsable de la seguridad del centro minero.
7. La aparición de pinturas ignífugas que hacen incombustibles las instalaciones de madera, elemento base del sostenimiento, almacenaje, etc. solucionan en parte los problemas de incendio en la minería.
8. El estudio de incendios experimentales en ANFO, constituyen un pequeño aporte al conocimiento del producto cuando entra en combustión y del comportamiento que podemos esperar.
9. La experimentación de la pintura ignífuga, ha dado resultados satisfactorios dentro de las expectativas del informe técnico que venía procedido el producto.
10. El agua sigue siendo el principal aliado para fuegos de gran magnitud, dado su bajo costo y magníficas cualidades que presenta, siempre y cuando se conozca su técnica de aplicación y limitaciones como agente extintor.

11. Toda inversión calculada en el rubro de la Seguridad, resulta beneficiosa a la Empresa, tanto en el factor económico - como en el humano.

## 7.2. RECOMENDACIONES

1. Se exija el total cumplimiento de las disposiciones del Reglamento de Bienestar y Seguridad Minera.
2. Que el INCITEMI (Instituto Científico y Tecnológico Minero) en concordancia con su ley orgánica, mediante publicaciones de orden técnico mantenga informados a los ingenieros de minas dedicados a la seguridad de los adelantos tecnológicos y nuevos productos del mercado nacional e internacional, que previa evaluación se les considere apropiados al campo de la minería, con fines de reducir los riesgos inherentes a la profesión.
3. Se instale sistemas fijos contra incendio en los polvorines y bodegas interiores para evitar el ingreso de las cuadri - llas de salvamento en zonas gaseadas por los productos de - combustión.

## 7.3. BIBLIOGRAFIA

- FIRE PROTECTION HAND BOOK DE LA NATIONAL FIRE PROTECTION (NFPA) 1969 ASSOCIATION

- Publicaciones de la NPPA, La France y Montecattini
- Publicaciones del National Bureau of Minas
- Resúmenes de la Ira. Reunión de Profesionales de Seguridad del Grupo Andino.
- Copias del Curso de Seguridad e Higiene Minera por el Ing. Amado Yataco M.

- - -

**CALCULO PARA DETERMINAR PRESION Y CAUDAL EN UN SPRINKLER :**

1.- Caudal en el punto "B".-  $Q_B$

$$Q_B = 450 A \sqrt{\frac{2g H}{1.5 + f \times L / D}}$$

$$Q_B = 450 \times 0.0211 \sqrt{\frac{2 \times 32.2 \times 450}{1.5 + \frac{0.02 \times 1440}{0.166}}}$$

$$Q_B = 9.495 \times 12.86 = 114.75 \text{ g.p.m.}$$

donde :  $Q =$  caudal en g.p.m.  
 $A = \frac{\pi D^2}{4} = 0.0211 \text{ pies}^2$   
 $2g = 64.4 \text{ pies /seg}^2$   
 $H = 450 \text{ pies}$   
 $D = \frac{2''}{12 \text{ pulg/pie}} = 0.166 \text{ pies}$   
 $f = 0.02$  (asumido)  
 $L = 1,440 \text{ pies}$

2.- Presión en el punto "B".-  $P_B$

$P_B =$  Presión estática - Caída de Presión por pérdidas ..... 1

Presión estática en "B" = 450 pies + 2.31 = 195.23 psi ..... 2

Pérdidas Equivalentes en pies de tubería : (tabla)

Tramo de 3"  $\varnothing$

Longitud	360.	pies
Codo 45°	3.7	pies
Válvula G/oBo	80.	pies
Reducción 2/3	$\frac{2}{445.7}$	pies
		pies

Tramo de 2"  $\varnothing$

Longitud	990.	pies
Codo 45°	2.5	pies
3 Codos 90°	15.	pies
T Standar	12.	pies
Válvula Globo	$\frac{60}{1079.5}$	pies
		pies

Caída de presión en psi (tabla)

PARA 3"  $\varnothing$  : 1.22 psi x 445.7/100 = 5.43 psi

PARA 2"  $\varnothing$  : 9.23 psi x 1079.5/100 =  $\frac{99.63}{105.06}$  psi ... 3

105.06 psi ... 3

∴ Presión en el punto "B".

$$P_B = 1 = 2 - 3$$

Remplazando valores :

$$P_B = 195.23 - 105.06 = 90.17 \text{ psi}$$

3- Caída de Presión entre "B" y "C"

Longitud 72 pies

T Standar 12 pies

Valvula Globo 55 pies

Codo 90° 5.5 pies

144.5 pies de longitud equivalente

En psi (tabla)

$$9.23 \times 144.5/100 = 13.33 \text{ psi}$$

$$\text{Presión en "C"} : 90.17 - 13.33 = \underline{\underline{76.84 \text{ psi}}}$$

4- Caudal aproximado por cada Sprinkler :  $\frac{Q_T}{6}$

$$Q_C = Q_D = Q_E = Q_F = Q_G = Q_H$$

$$Q_T = \sum Q \quad \therefore Q_C = 114.75 / 6 = \underline{\underline{19.12 \text{ g.p.m.}}}$$

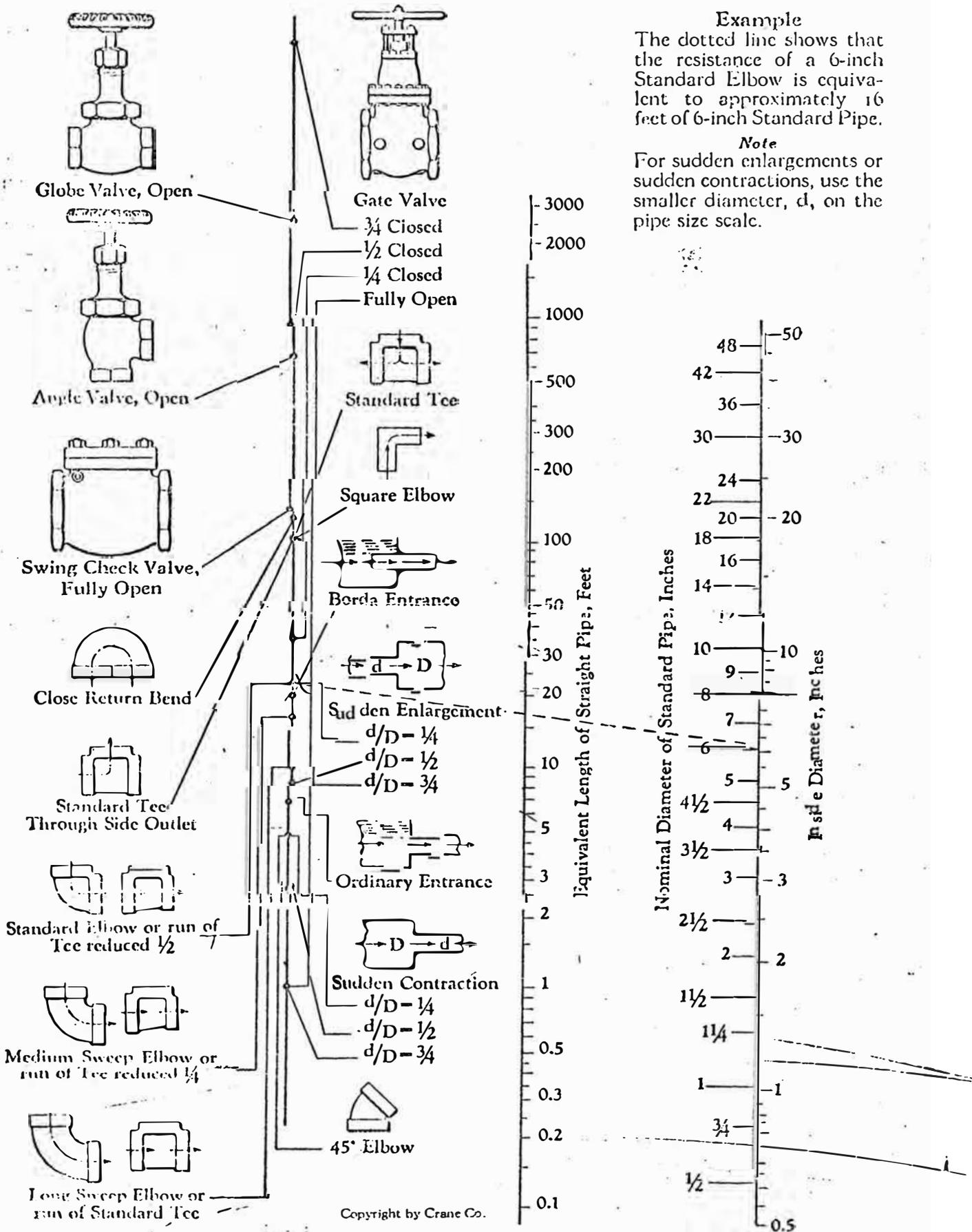
$$19.12 \text{ g.p.m.} = 72.36 \text{ lts/min}$$

∴ Si los tanques de almacenamiento de explosivos tienen 1 m<sup>3</sup> de capacidad y estan 70% llenos, demorarán en inundarse:

$$1000 \text{ dm}^3 - 700 \text{ dm}^3 = 300 \text{ dm}^3$$

$$300 / 72.36 = \underline{\underline{4.14 \text{ minutos}}}$$

# Resistance of Valves and Fittings to Flow of Fluids



# Pressure Drop of Water Through Schedule 40 Steel Pipe

Dis-charge  Gallons per Minute	Pressure Drop of Water per 100 Feet of Schedule 40 Steel Pipe															
	Veloc-ity Press-ure Drop		Veloc-ity Press-ure Drop		Veloc-ity Press-ure Drop		Veloc-ity Press-ure Drop		Veloc-ity Press-ure Drop		Veloc-ity Press-ure Drop		Veloc-ity Press-ure Drop		Veloc-ity Press-ure Drop	
	Feet per Second	Pounds per Sq. In.	Feet per Second	Pounds per Sq. In.	Feet per Second	Pounds per Sq. In.	Feet per Second	Pounds per Sq. In.	Feet per Second	Pounds per Sq. In.	Feet per Second	Pounds per Sq. In.	Feet per Second	Pounds per Sq. In.	Feet per Second	Pounds per Sq. In.
	<b>1/8"</b>		<b>1/4"</b>		<b>3/8"</b>		<b>1/2"</b>		<b>3/4"</b>		<b>1"</b>		<b>1 1/4"</b>		<b>1 1/2"</b>	
.2	1.13	1.52	.62	.420												
.3	1.69	4.79	.92	.925	.50	.199	.32	.065								
.4	2.26	7.70	1.23	1.61	.67	.346	.42	.111								
.5	2.82	11.20	1.54	2.41	.84	.527	.53	.169	.30	.045						
.6	3.38	15.75	1.85	3.32	1.01	.747	.63	.238	.36	.064						
.8	4.52	27.40	2.46	5.77	1.34	1.30	.84	.407	.48	.102						
1			3.08	8.80	1.68	1.98	1.06	.605	.60	.152	.37	.049				
2			6.16	33.60	3.37	7.17	2.11	2.18	1.20	.552	.74	.170	.43	.045		
3					5.05	15.30	3.16	4.67	1.80	1.18	1.12	.353	.64	.094	.47	.044
4					6.73	25.70	4.72	7.60	2.40	1.97	1.49	.594	.86	.155	.63	.074
5							5.27	11.15	3.60	2.99	1.86	.902	1.07	.216	.79	.112
6	.57	.046	<b>2 1/2"</b>				6.31	16.10	4.70	4.05	2.74	1.71	1.24	.330	.95	.153
8	.70	.075					8.42	27.60	4.80	6.97	2.98	1.71	1.72	.552	1.26	.263
10	.96	.114	.67	.048	<b>3"</b>				6.01	10.52	3.77	3.03	2.14	.834	1.57	.386
15	1.43	.233	1.00	.099					9.02	22.00	5.60	6.45	3.21	1.76	2.36	.813
20	1.91	.346	1.34	.164	.87	.059	<b>3 1/2"</b>				7.44	11.05	4.29	2.91	3.15	1.35
25	2.39	.581	1.68	.248	1.08	.087							5.36	4.37	3.94	2.02
30	2.87	.804	2.01	.343	1.30	.121	.81	.012					6.43	6.29	4.72	2.91
35	3.35	1.10	2.35	.449	1.52	.158	1.14	.079	.88	.042			7.51	8.25	5.51	3.82
40	3.82	1.37	2.68	.558	1.74	.206	1.30	.100	1.01	.053					6.30	4.78
45	4.30	1.74	3.00	.714	1.95	.251	1.46	.121	1.13	.067					7.08	6.06
50	4.78	2.06	3.35	.882	2.17	.310	1.62	.144	1.26	.080					7.87	7.47
60	5.74	2.96	4.02	1.22	2.60	.429	1.95	.207	1.51	.110						
70	6.69	3.86	4.69	1.53	3.04	.584	2.27	.271	1.76	.150	1.12	.048				
80	7.65	5.03	5.37	2.17	3.48	.762	2.59	.353	2.01	.187	1.28	.063	<b>6"</b>			
90	8.60	6.36	6.04	2.61	3.91	.922	2.92	.446	2.26	.237	1.44	.080				
100	9.56	7.51	6.71	3.23	4.34	1.14	3.24	.527	2.52	.281	1.60	.095	1.11	.039		
125	<b>11.96</b>		8.38	4.82	5.42	1.71	4.05	.786	3.15	.438	2.00	.148	1.39	.056		
150			10.06	6.04	6.51	2.35	4.86	1.13	3.78	.602	2.41	.204	1.67	.078		
175			11.73	7.00	7.59	3.70	5.67	1.47	4.41	.870	2.81	.278	1.94	.106		
200					8.68	5.07	6.48	2.22	5.07	1.22	3.21	.315	2.22	.132		
225					9.77	5.02	7.29	2.31	5.67	1.29	3.61	.437	2.50	.166	1.44	.041
250					10.85	6.19	8.10	2.85	6.30	1.59	4.01	.514	2.78	.205	1.60	.055
275					11.94	7.50	8.91	3.44	6.93	1.83	4.41	.622	3.06	.236	1.76	.063
300					13.02	8.47	9.72	4.09	7.56	2.18	4.81	.741	3.33	.280	1.92	.075
325	<b>28.7</b>						10.53	4.55	8.18	2.55	5.21	.825	3.61	.329	2.08	.088
350							11.35	5.27	8.82	2.97	5.61	.957	3.89	.362	2.24	.097
375							12.17	6.07	9.45	3.23	6.01	1.10	4.16	.416	2.40	.111
400							12.97	6.89	10.08	3.67	6.41	1.25	4.44	.472	2.56	.127
425							13.78	7.78	10.70	4.15	6.82	1.41	4.72	.534	2.72	.143
450							14.59	8.73	11.33	4.65	7.22	1.50	5.00	.596	2.88	.160
475	1.93	.040							11.96	5.17	7.62	1.67	5.27	.666	3.04	.169
500	2.04	.063							12.59	5.73	8.02	1.85	5.55	.739	3.20	.187
550	2.24	.070							13.84	6.93	8.82	2.24	6.11	.894	3.53	.226
600	2.44	.086							15.10	8.25	9.62	2.67	6.66	1.06	3.85	.270
650	2.65	.101	<b>12"</b>								10.42	3.13	7.21	1.18	4.17	.316
700	2.85	.118	2.01	.048							11.22	3.63	7.77	1.37	4.49	.369
750	3.05	.135	2.15	.055	<b>14"</b>						12.02	4.16	8.32	1.57	4.81	.421
800	3.26	.154	2.29	.062							12.82	4.47	8.88	1.78	5.13	.479
850	3.46	.174	2.44	.070	2.02	.043					13.62	5.05	9.44	2.02	5.45	.511
900	3.66	.191	2.58	.079	2.14	.048					14.42	5.66	10.00	2.26	5.77	.573
950	3.87	.221	2.72	.088	2.25	.053					15.22	6.31	10.55	2.37	6.09	.638
1,000	4.07	.249	2.87	.098	2.36	.059	<b>16"</b>				16.02	7.00	11.10	2.63	6.41	.708
1,100	4.37	.274	3.06	.110	2.61	.066					17.03	8.40	12.22	3.18	7.07	.800
1,200	4.58	.327	3.45	.119	2.85	.081	2.18	.040					13.32	3.78	7.69	1.02
1,300	5.29	.383	3.73	.156	3.09	.095	2.36	.047					14.43	4.44	8.33	1.13
1,400	5.70	.444	4.02	.180	3.32	.110	2.54	.054					15.54	5.15	8.97	1.30
1,500	6.10	.511	4.30	.207	3.55	.119	2.73	.062					16.65	5.55	9.62	1.50
1,600	6.51	.546	4.59	.236	3.80	.135	2.91	.071					17.76	6.31	10.26	1.70
1,800	7.32	.691	5.16	.298	4.27	.171	3.27	.085	2.58	.048			19.98	7.98	11.54	2.16
2,000	8.13	.854	5.73	.347	4.74	.211	3.63	.105	2.88	.056	<b>20"</b>		22.20	9.85	12.83	2.50
2,500	10.18	1.25	7.17	.541	5.92	.309	4.54	.163	3.59	.088			24.43	11.55	16.03	3.90
3,000	12.21	1.80	8.60	.731	7.12	.445	5.45	.221	4.31	.127	3.45	.073			19.24	5.24
3,500	14.25	2.29	10.03	.995	8.32	.618	6.35	.300	5.03	.152	4.03	.094	<b>24"</b>		22.43	7.14
4,000	16.28	2.99	11.48	1.30	9.49	.792	7.25	.392	5.74	.212	4.61	.122	3.19	.051	25.65	9.33
4,500	18.31	3.78	12.90	1.54	10.67	.936	8.17	.492	6.47	.250	5.19	.155	3.59	.060		
5,000	20.35	4.67	14.34	1.89	11.84	1.16	9.08	.572	7.17	.308	5.76	.178	3.99	.074		
6,000	24.47	6.72	17.21	2.73	14.32	1.54	10.88	.824	8.62	.445	6.92	.257	4.80	.109		
7,000	28.50	8.51	20.08	3.72	16.60	2.19	12.69	1.22	10.04	.606	8.06	.350	5.68	.136		
8,000			22.95	4.51	18.98	2.74	14.52	1.36	11.43	.734	9.23	.457	6.38	.174		
9,000			25.80	5.70	21.35	3.47	16.32	1.72	12.92	.920	10.37	.536	7.19	.225		
10,000			28.63	7.64	23.75	4.27	18.16	2.12	14.37	1.15	11.51	.663	7.96	.278		
12,000			34.38	9.36	28.50	6.18	21.80	3.09	17.23	1.65	13.83	.954	9.57	.371		
14,000					33.20	8.40	25.42	4.16	20.10	2.07	16.14	1.20	11.18	.505		
16,000							29.05	5.44	22.96	2.71	18.43	1.57	12.77	.660		

# PROTECCION A UN POLVORIN UTILIZANDO SPRINKLERS

DISTANCIAS

1-3 = 360'

4-5 = 240'

5-6 = 150'

$\theta = 3^\circ$

ACCESORIOS

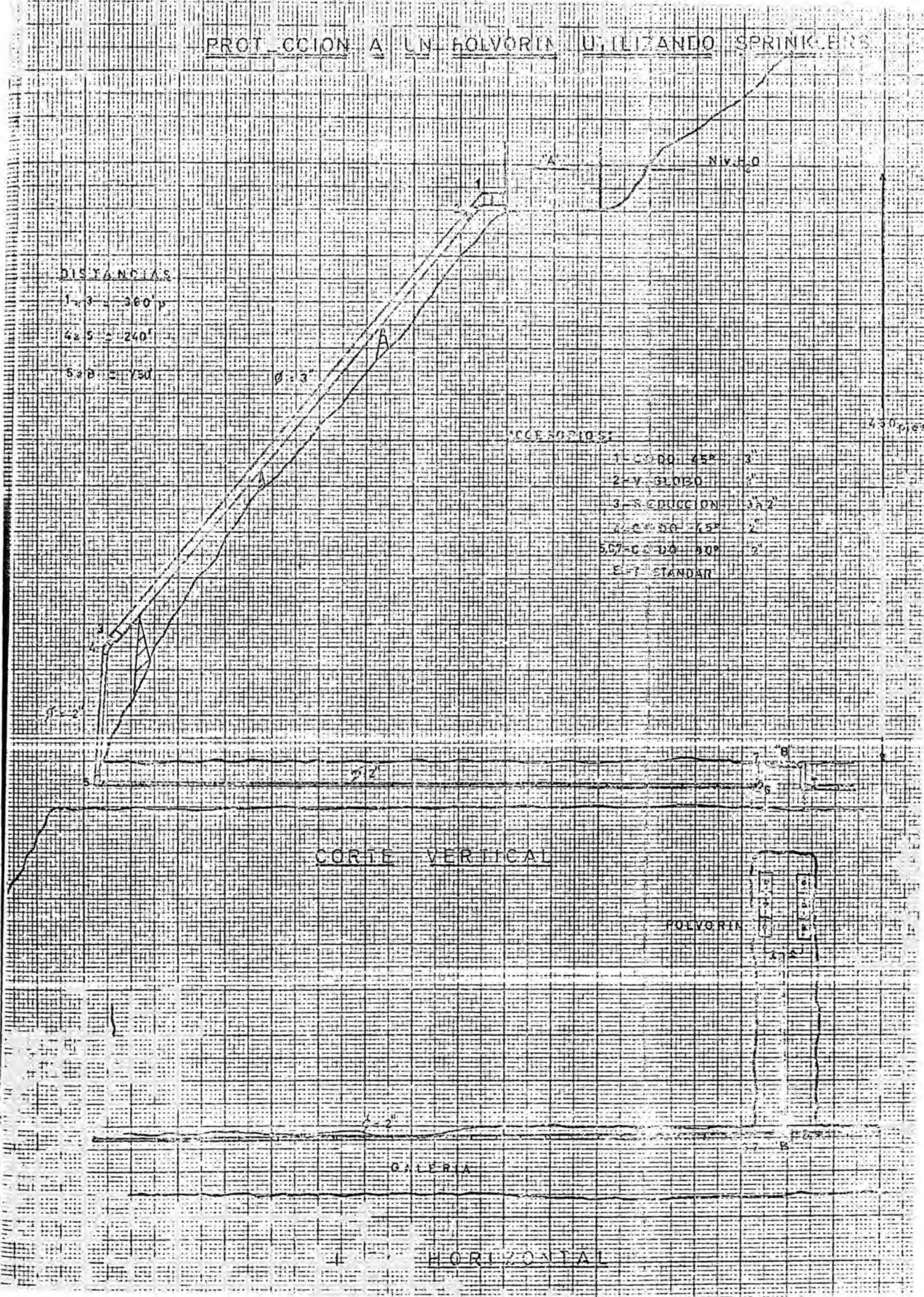
- 1- CODO 45° 3"
- 2- V. GLOBO 1"
- 3- REDUCCION 3" a 2"
- 4- CODO 75° 2"
- 5- CODO 90° 2"
- E- 1 STANDAR

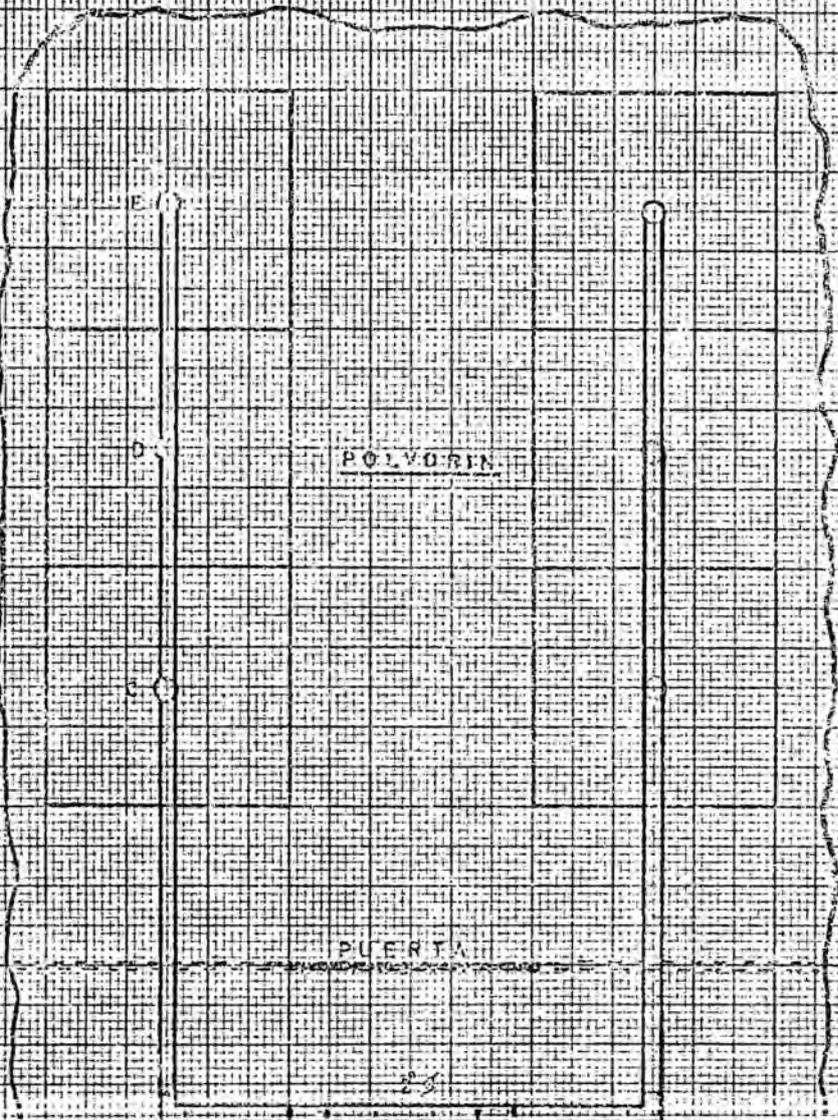
CORTE VERTICAL

POLVORIN

GALERIA

HORIZONTAL





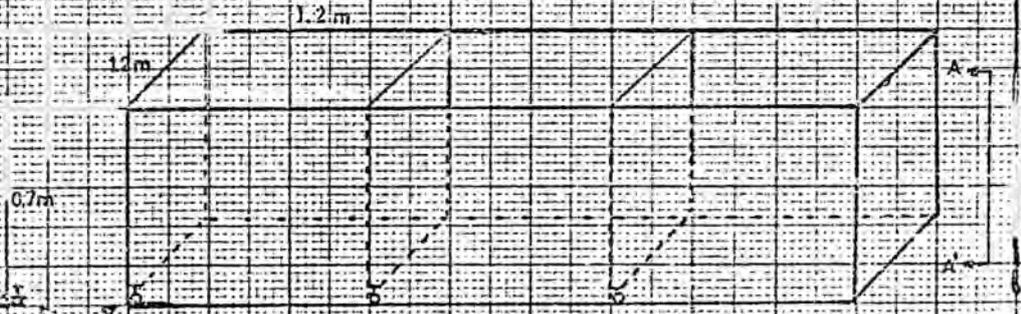
DISTANCIAS:

- B-C = 72 pies
- C-D = 4 pies
- D-E = 4 pies

VISTA HORIZONTAL



SPRINKLERS

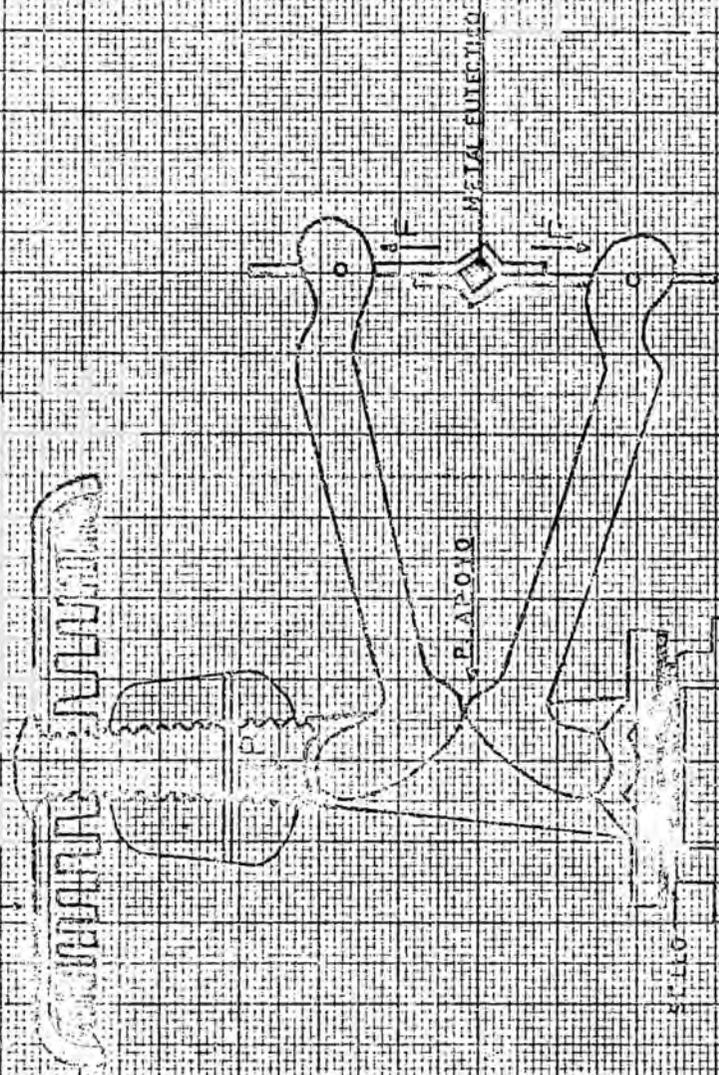


CON PIS INCLINADO

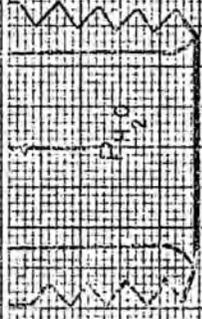
ORINATE

VISTA VERTICAL

VOLANTE MOTORS



SCALO



CURTE DE UN SPRINKLER  
AUTOMATICO



av. francisco pizarro 585 block 4 dpto. 101 - rímac