

**Universidad Nacional de Ingeniería  
Facultad de Ingeniería Ambiental**



**PREVENCIÓN Y CONTROL DE INCENDIOS  
Y EXPLOSIÓN EN LAS MINAS DE CARBÓN**

**T E S I S**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO DE HIGIENE Y SEGURIDAD INDUSTRIAL**

**EUSEBIO ROBLES GARCIA  
GREGORIO SANTIAGO SAENZ POHL**

**LIMA - PERU - 1988**

## INDICE

1. INTRODUCCION	1
1.1 Objetivo	1
1.2 Metodología	2
1.3 Selección del riesgo	3
1.4 Sustitución del petróleo por carbón	5
1.5 Demanda potencial de carbón en el Perú.	6
1.5.1 Industria ladrillera	6
1.5.2 Industria Cementera	7
1.5.3 Producción de vapor en calderos	8
1.5.4 Siderurgia	9
1.5.5 Metalurgia	10
1.5.6 Generación de Energía Carboeléctrica.	10
1.5.7 Mezclas carbón-petróleo.	11
1.5.8 Industria azucarera	12
1.5.9 Usos domésticos	12
1.5.10 Otras posibilidades de uso.	13
1.5.11 Demanda potencial proyectada.	14
1.6 Exportación de carbón peruano.	16
1.7 Precio del carbón en el mercado nacional.	16

2. ANTECEDENTES HISTORICOS	18
2.1 A nivel mundial	18
2.1.1 Producción mundial.	18
2.1.2 Países productores	20
2.1.3 Incendios y explosiones ocurridas.	20
2.1.4 Muertos en accidentes por otras causas.	26
2.2 En el Perú	27
2.2.1 Producción nacional.	28
2.2.2 Producción por su calidad.	32
2.2.3 Producción por departamentos.	34
2.2.4 Importación de carbón.	37
2.2.5 Producción comparativa de carbón y petróleo.	39
2.2.6 Costo de producción.	43
2.2.7 Incendios y explosiones ocurridas.	44
2.2.8 Accidentes fatales ocurridos por otras causas.	44
2.2.9 Accidentes fatales ocurridos en la industria minera.	50
2.2.10 Legislación carbonífera.	53
2.2.10.1 Código de Minería de 1924.	53
2.2.10.2 Código de Minería de 1950.	55
2.2.10.3 Ley General de Minería	56

2.2.10.4 Ley General de Minería	56
Decreto Legislativo N°109.	
<b>3. METODOS DE EXPLOTACION</b>	<b>58</b>
3.1 Terminología	59
3.2 Clasificación de los carbones en general	61
3.3 Geología de los carbones peruanos.	63
3.3.1 Sierra del Norte	65
3.3.2 Sierra Central	67
3.3.3 Zona de Tumbes y la Llanura Ama zónica.	68
3.3.4 Sierra del Sur.	69
3.3.5 Zona Sur-Este.	69
3.4 Ubicación de los yacimientos carboníferos del Perú.	70
3.5 Características químicas y caloríficas de los carbones peruanos.	70
3.5.1 Antracitas.	77
3.5.2 Carbones bituminosos.	78
3.5.3 Lignitos.	79
3.6 Reservas probables de carbón en el Perú.	80
3.7 Métodos de explotación empleadas en el Perú.	81
3.7.1 Cámaras y pilares (Room and Pillar)	82
3.7.2 Paredes largas (long wall).	83
3.7.3 Corte y relleno.	87
3.7.4 Almacenamiento provisional (shrinkage Stoping).	88

4. GENERACION DE INCENDIO Y EXPLOSION	91
4.1 Definiciones básicas.	91
4.2 Teoría del fuego	97
4.2.1 El fuego y la investigación científica.	97
4.2.2 Objetivo de la investigación de los incendios.	100
4.2.3 Aspectos que se ocupa la investigación.	101
4.2.4 Materiales combustibles y sus propiedades en las minas de carbón.	104
4.2.4.1 Gas grisú	104
4.2.4.2 Polvo de carbón.	131
4.2.5 Fuentes de energía calorífica	136
4.2.6 Principio del fuego.	139
4.2.6.1 Reacciones de oxidación.	140
4.2.7 Incendio en las minas de carbón	140
4.2.7.1 Causas del incendio.	141
4.2.7.2 Origen de la combustión	143
4.2.7.3 Combustión sin llama	149
4.2.7.4 Combustión con llama	151
4.2.7.5 Energía de activación	153
4.2.7.6 Átomos y radicales libres.	156
4.2.7.7 Reacción en cadena.	160
4.2.7.8 Cinética química de la combustión.	166
4.2.7.9 Cálculo del calor de combustión.	172

4.3	Teoría de la explosión	174
4.3.1	Explosión por combustión	178
4.3.2	Explosión térmica	180
4.3.3	Explosión por presión.	180
4.3.4	Causas de explosión en las minas de carbón.	181
4.3.5	Explosión en las minas de carbón.	184
4.4	Propagación del incendio y explosión.	203
4.4.1	Propagación horizontal.	207
4.4.2	Propagación vertical.	209
4.4.3	Transferencia de calor.	211
4.4.3.1	Conducción.	211
4.4.3.2	Convección	212
4.4.3.3	Radiación.	213
4.4.3.4	Convección y radiación combinadas.	214
4.4.4	Productos de combustión y explosión.	214
4.4.4.1	Efectos fisiológicos.	217
4.4.4.2	Límites de explosividad de los gases.	229

5. PREVENCIÓN Y CONTROL DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN	230
5.1 Prevención de incendio y explosión	230
5.1.1 Evaluación de grisú y polvo de carbón	230
5.1.2 Medidas contra el grisú y el polvo de carbón.	241
5.1.2.1 Factores humanos.	242
5.1.2.2 Ventilación.	244
5.1.2.3 Infusión de agua.	251
5.1.2.4 Neutralización del polvo de carbón por esquistificación.	252
5.1.2.5 Recomendaciones de utilidad práctica.	254
5.2 Protección contra incendio y explosión.	259
5.2.1 Protección de personas.	260
5.2.1.1 Métodos de protección	260
5.2.1.2 Equipos de protección personal.	270
5.2.2 Protección de instalaciones.	272
5.2.3 Sistemas para protección en labores subterráneas.	296
5.2.3.1 Detectores	297
5.2.3.2 Agua contra incendio	309
5.2.3.3 Rociadores automáticos.	326
5.2.3.4 Extintores.	341
5.2.3.5 Barreras de protección	346

5.2.3.6	Confinamiento	351
5.3	Control de incendio y explosión	359
5.3.1	Extinción por enfriamiento	360
5.3.2	Extinción por eliminación de oxígeno.	362
5.3.3	Extinción por eliminación de combustible.	363
5.3.4	Extinción por inhibición de la reacción en cadena.	363
5.4	Lucha contra incendio y explosión.	365
5.4.1	Plan de emergencia contra siniestros.	366
5.4.2	Agentes extintores.	378
5.4.2.1	El agua	378
5.4.2.2	Polvo de roca	380
5.4.2.3	Arena	380
5.4.3	Medios de extinción	380
5.4.3.1	Ataque directo	381
5.4.3.2	Ataque indirecto.	384
5.5	Salvataje minero	386
5.5.1	Requisitos exigidos para ser Miembro de Salvataje Minero	387
5.5.2	Instrucción y formación del personal de salvataje	388
5.5.3	Equipo mínimo de salvamento minero	392



5.5.4	Locales de salvamento	394
5.5.5	Operaciones de salvamento	395
5.5.5.1	Exploración	397
5.5.5.2	Salvamento de vidas.	398
5.5.5.3	Evacuación de cadáveres.	398
5.5.5.4	Lucha y extinción de siniestros.	399
5.5.5.5	Restablecimiento de la ventilación en casos de explosión.	400
5.5.5.6	Confinamiento del siniestro.	401
5.5.5.7	Reapertura de tapones.	402
5.5.5.8	Recuperación de laboreos taponados.	404
6.	CALCULO DE COSTO EN LA PREVENCION Y CONTROL DE INCENDIO Y EXPLOSION.	405
6.1	Elementos del costo	405
6.2	Factores que determinen el costo de prevención y control	408
6.3	Clases de inversiones en la empresa.	412
6.4	Pérdida máxima probable.	414
6.4.1	Componentes de la pérdida máxima probable.	413

6.4.2	Cálculo de la pérdida máxima probable.	419
6.5	Costo de prevención de la pérdida máxima probable.	425
6.6	Justificación económica de la prevención y control de riesgos.	432
7.	CONCLUSIONES	439
7.1	Antecedentes históricos.	439
7.2	Métodos de explotación.	440
7.3	Generación de incendio y explosión.	440
7.4	Prevención y control.	
7.5	Cálculo de costo de prevención	450
8.	RECOMENDACIONES	451
9.	BIBLIOGRAFIA	
9.1	Periódicos.	
9.2	Informes referentes a estudio de carbón	
9.3	Boletines	
9.3.1	Boletines del Cuerpo de Ingenieros de Minas del Perú.	
9.3.2	Boletines de la Sociedad Nacional de Minería	
9.3.3	Boletines del Ministerio de Energía y Minas.	
9.4	Revistas especializadas en Minería.	
9.5	Legislación Minera.	

9.6 Libros en General.

9.7 Otros

Lista de Cuadros

Lista de Gráficas.

Lista de planos.

**ANEXOS:**

Anexo N°1: Reglamento de Procedimiento que debe seguirse en la explotación de mina de carbón.

Anexo N°2: Reglamentación de la explotación en las minas de carbón, de Goyllarisquiza en particular y de todas las de la República en general.

## LISTA DE CUADROS

1.1	Demanda potencial proyectada de carbón 1985-1995	15
2.1	Producción Mundial de carbón.	19
2.2	Países productores de carbón.	21
2.3	Accidentes ocurridos a nivel mundial.	22
2.4	Promedio de muertos 1908-1909	26
2.5	Producción de carbón en el Perú. 1903-1941.	30
2.6	Producción de carbón por su calidad. 1925-1937.	33
2.7	Producción de carbón por departamen- tos Año 1912.	35
2.8	Producción de carbón por departamen- tos. Año 1918.	36
2.9	Importación de carbón	38
2.10	Producción de petróleo y carbón en el Perú.	40
2.11	Costo de producción de carbón y petróleo.	43
2.12	Accidentes ocurridos en el Perú	45

2.13	Accidentes ocurridos en la Mina Goyllarisquizga.	48
2.14	Estadística de accidentes de la mina Goyllar. Resumen General Comparativo de los años 1969-1971.	49
2.15	Operarios muertos en Cerro de Pasco y Yauli.	50
3.1	Ubicación de los diferentes yacimientos carboníferos del Perú.	71
3.2	Análisis de los carbones peruanos.	73
3.3	Reservas probables de carbón	80
4.1	Composición de los vegetales.	105
4.2	Emisiones diarias de grisú	112
4.3	Capacidad calorífica de los carbones.	170
4.4	Propiedades más comunes del Metano	185
4.5	Tipos de explosiones producidas por el polvo de carbón.	199
4.6	Características explosivas de polvos car- bonosos.	201
4.7	Deficiencia de oxígeno	218
4.8	Envenenamiento por monóxido de carbono	220
4.9	Efectos fisiológicos.	221
4.10	Efectos de los óxidos de nitrógeno	223
4.11	Efectos del ácido sulfhídrico	225

4.12	Acción tóxica del ácido sulfhídrico	226
4.13	Efectos fisiológicos del Anhidrido Sulfuroso	228
4.14	Límite de explosividad de los gases.	229
5.1	Cantidad de aire por persona	246
5.2	Coeficientes de equivalencia	253
5.3	Tensiones nominales de alimentación.	284
5.4	Caudales con relación a las presiones.	322
5.5	Para los Sprinkler de placa soldada	329
5.6	Para los Sprinkler tipo ampolla.	330
5.7	Equipo mínimo de salvamento	393
6.1	Tamaño de la empresa minera	410
6.2	Empresa minera según riesgo	411
6.3	Pérdida máxima probable proyectada.	424
6.4	Presupuesto de prevención de riesgos.	426
6.5	Cálculo de costo de prevención	427
6.6	Cálculo por el método de los mínimos cuadrados.	429
6.7	Cálculo de costo de prevención de pérdidas.	432
6.8	Cálculo de beneficio	434
6.9	Cuadro comparativo. Caso	435
6.10	Cuadro comparativo. Caso	435

6.11	Cálculo del grado de seguridad.	436
	Sin accidentes.	
6.12	Cálculo del grado de seguridad. Con	438
	accidentes.	

## LISTA DE GRAFICAS

2.1	Histogramas de seguridad comparativa en las diversas industrias. Año 1979 Indice de frecuencia.	51
2.2	Histogramas comparativas de seguridad en las diversas industrias. Indice de Severidad.	52
3.1	Gráfica del método de explotación. Cámaras y pilares.	84
3.2	Gráfica del método de explotación. Paredes largas.	85
3.3	Gráfica del método de explotación. Paredes largas (Goyllar)	86
3.4	Gráfica del método de explotación. Corte y relleno.	90
3.5	Gráfica del método de explotación. Almacenamiento provisional.	90
4.1	Gráfica de la curva de absorción.	119
4.2	Gráfica de la permeabilidad del carbón.	125
4.3	Gráfica Triángulo del fuego	152
4.4	Gráfica del tetraedro del fuego	152
4.5	Gráfica de la energía de activación de una reacción química.	154



4.6	Esquema de una reacción en cadena	162
4.7	Gráfica de cinética de las reacciones.	171
4.8	Gráfica de la explosividad de las mezclas.	187
4.9	Gráfica de la variación de materiales volátiles.	195
4.10	Gráfica de incendio y explosión. Propagación horizontal.	208
4.11	Gráfica de incendio y explosión. Propagación vertical.	210
5.1	Gráfica del metanómetro-Goyllar	335
5.2	Gráfica de la instalación de detectores.	302
5.3	Gráfica de distribución de rociadores.	332
5.4	Gráfica de cierres temporales	355
5.5	Gráfica de cierres permanentes.	358
5.6	Gráfica. Organigrama organizativo del Plan de Emergencia.	371
6.1	Representación gráfica del costo de Prevención.	431

## LISTA DE PLANOS

P-1 Plano de Avance- Goyllarisquizga

P-2 Plano de Avance 2do. Piso.  
Goyllarisquizga.

## PREFACIO

El presente estudio, abarca un vasto tema como la prevención y control de incendio y explosión del gas grisú y el polvo de carbón, en la explotación subterránea de las minas de carbón.

Diferentes métodos y técnicas de prevención, están desarrolladas, que resultarán muy útiles para toda persona, estudiantes y profesionales interesados en la prevención de siniestros, principalmente para los Ingenieros de Higiene y Seguridad Industrial.

La aplicación de los métodos dependerá mucho de las características minero-geológicas, propias de cada mina, métodos de explotación empleadas, del grado de mecanización, automatización, tamaño y grado de riesgo que encierra.

El cálculo de costo de prevención, resulta de gran ayuda para sustentar en términos monetarios los beneficios económicos que brinda la seguridad, a la empresa y la sociedad.

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio es contribuir a la explotación segura de las minas de carbón subterráneas, estableciendo sistemas de prevención y control de incendio y explosión, evitando de esta forma, los posibles desastres en las minas de carbón en el Perú.

Los incendios y explosiones producidos por el gas grisú y el polvo de carbón, son riesgos potenciales permanentes, que amenazan constantemente la vida de los trabajadores y la propiedad. Según confirman los datos estadísticos de las catástrofes mineras ocurridos en el Perú y a nivel mundial, han causado a centenares de mineros y cuantiosa pérdida material.

Las características minero-geológicas y la clase del yacimiento carbonífero, determinan la selección apropiada y segura del método de explotación.

En el capítulo de la generación del incendio y explosión, se presenta estudio de la teoría del fuego y explosión, que explica desde su origen hasta -

los efectos perjudiciales y destructores de los incendios y explosiones, propagación, transferencia - de calor, productos de la combustión y sus efectos fisiológicos dañinos y perjudiciales para la salud de los trabajadores.

Se presenta diferentes métodos de prevención - de riesgos de incendio y explosión, su aplicación y uso evitará el inicio del accidente.

Evaluación y control del gas metano y polvo de carbón, métodos de protección de siniestros, previstos para minimizar sus efectos perjudiciales, en caso de presentarse la emergencia; lucha contra siniestros y salvataje minero.

Se efectúa el cálculo de costo de prevención de pérdidas, causadas por siniestros y los beneficios económicos que brinda la seguridad a la empresa y el país.

## 1. INTRODUCCION

El presente estudio está dirigido a contribuir en la prevención y control de los incendios y explosiones, que se producen durante la explotación subterránea de las minas de carbón.

El Perú cuenta con ingentes reservas de recursos carboníferos a lo largo y ancho de su territorio, su explotación a gran escala es un reto para los profesionales de higiene y seguridad industrial y, otras profesiones inherentes a la minería.

### 1.1 Objetivo

Contribuir a la explotación segura, estableciendo sistemas de prevención y control de incendio y explosión, evitando en esa forma los posibles desastres en las minas de carbón en el Perú.

## 1.2 Metodología

Los conceptos, las definiciones y términos de los conocimientos referentes a los fenómenos de incendio y explosión en minas de carbón subterráneas, están sistematizadas para que facilite el entendimiento científico, en forma clara, eliminando el carácter empírico. Siendo la base del estudio la investigación bibliográfica especializada, la clasificación y organización de la información obtenidas, estudio e interpretación de datos estadísticos, la descripción de las observaciones de campo, entrevistas y testimonios de sobrevivientes de la catástrofe ocurrida en Goyllarisquizga en 1964, métodos de predicciones, teorías y métodos de prevención de siniestros, métodos y técnicas de seguridad y otros métodos auxiliares, como la estadística, los métodos económicos, físicos, sociales, legales, etc.

Este estudio presenta una serie de métodos de prevención de siniestros, aplicables a todos los fenómenos con similares características en la explotación de minas de carbón subterráneas.

### 1.3 Selección del Riesgo

De acuerdo a los datos estadísticos de muchas décadas a nivel mundial y nacional, el mayor riesgo potencial existente en la explotación de las minas de carbón, es el incendio y explosión originada por la inflamación del gas Grisú y el polvo de carbón, que ha ocasionado verdaderas catástrofes, dando muerte a centenares de trabajadores y pérdidas materiales incalculables; cualquier otro accidente es menor en comparación.

Por ejemplo, los accidentes ocurridos en diferentes países del mundo y en el Perú, confirman este hecho: en Francia, en la mina de Carbón Courrières, en 1906, trabajaban 1800 mineros de los cuales murieron 1099, ésta es la mayor catástrofe registrada a nivel mundial; en EE.UU., han ocurrido numerosos siniestros en la mina Momongal, en 1907 trabajaban 400 mineros, de los cuales murieron 361, en el mismo año, en la mina de carbón Jacob Creek, mueren 239 mineros; en 1909, en la mina de carbón Cherry de 580 mineros, mueren 259; en 1913 en la mina de carbón Stag, de 280 mineros, mueren 263, etc.



En Alemania, en el Ruhr, en 1946, mueren 402 mineros; etc.

En el Japón, en 1915, en mina Fukuoka, mueren 687 mineros, fue la catástrofe más grande registrada para este país; en 1963, en la mina Mitsumikawa, de 1221 mineros, mueren 447; en 1965, en la mina Yamano, de 550 mineros, mueren 236, etc.

En Bélgica, en 1956 mueren en Catástrofe minera 262 trabajadores; etc.

En Sudáfrica, en 1960, de 506 mineros, mueren 437, en Rhodesia en 1972, de 468 mineros, mueren 437; en la India, en 1975, de 900 mineros, mueren 372.

En el Perú, en la mina de Carbon de Goyllarisquizga, en 1910 ocurren dos catástrofes, en el mes de Enero mueren 29 mineros y 55 heridos; en el mes de Agosto del mismo año, mueren 61 mineros y 20 heridos y la catástrofe más grave ocurrió en el año 1964, mueren 64 mineros y 11 heridos, muriendo después todos los heridos; el resultado final fue la muerte de 75 mineros.<sup>(1)</sup>

---

(1). Ver Bibliografía. Periódicos.

#### 1.4 Sustitución del Petróleo por carbón

La actual situación de existencia de reservas de petróleo en nuestro país y la elevada inversión que requieren las exploraciones petrolíferas hacen peligrar la autosuficiencia en el consumo interno, en tal sentido, resulta del mayor interés y necesidad el plantear la sustitución de los derivados del petróleo por carbón en los casos que resulta técnicamente factible. La prospección geológica en el caso del carbón resulta insignificante comparada con el petróleo. Su utilización con fines energéticos en los diferentes rubros de la economía nacional a mediano y largo plazo es urgente, como sustituto del petróleo y otras formas de energía, por tener mayor poder energético y de bajo costo.

Respondiendo a esta necesidad en el país se ha dado la Ley N° 24178 denominada Sustitución del Petróleo por carbón con fines energéticos y anteriormente el Decreto Legislativo N°301 que en su artículo N°40 establece exoneraciones a la importación de maquinaria y equipos, con estos fines.

## 1.5 Demanda Potencial de carbón en el Perú

Debido al aumento de precios de hidrocarburos, no pudiendo seguir subsidiado como antes, por el Estado. Desde el año 1980, la producción y consumo de carbón nacional han crecido en más de 500%, habiendo un cambio espectacular en las ladrilleras que utilizan ahora, principalmente el cisco (carbón fino 8 mm $\emptyset$ ).

Esta situación representa una alternativa de importancia e impostergable influencia en el equilibrio energético y económico del país, por lo cual las posibilidades de incremento de la demanda del carbón en los próximos años debe mejorarse sustancialmente, permitiendo el desarrollo de la minería carbonífera y el aprovechamiento de los apreciables recursos de carbón con que cuenta el país. (1)

### 1.5.1 Industria Ladrillera.

La sustitución integral del petróleo por carbones nacionales en toda la industria ladrillera, por lo cual requiere que se le brinde la mayor atención y apoyo técnico.

(1). Ver Bibliografía. Revistas especializadas en Minería.

En un plazo muy corto, resulta factible que sólo en la provincia de Lima (60 ladrilleras entre registradas, omisas y clandestinas) se podría sustituir parcialmente 3840 TM/Mes de petróleo residual N°6 por 5760 TM/Mes de carbón, lo cual ampliado a todo el país, podría significar el reemplazo de unas 60,000 TM anuales de petróleo y el empleo de 90,000 TM de carbón, lo que resulta más del doble de la producción actual, lo cual asegura un mercado interno de consumo a la minería carbonífera nacional. (1)

#### 1.5.2 Industria Cementera.

En las fábricas existentes en el país, sustitución del petróleo residual N° 6. Para la producción actual de 1'675,000 TM/Año de cemento (55% de la capacidad instalada) se utiliza aproximadamente 150,000 TM de petróleo, que sustituidos por 195,000 TM de carbón representaría US\$ 40 millones, equivalente en términos económicos al 3% de la actual demanda interna si el país se viere obligado a importar petróleo, lo cual es bastante significativo.

---

(1) Ver Bibliografía. Revistas Especializadas en Minería.

El consumo nacional de hullas pulverizadas podrá llegar fácilmente durante la próxima década a 400,000 TM/Año en las cementeras.

Actualmente, se encuentra en implementación un proyecto para el cambio de combustible en Cementos Lima y Andino a través de la formación de la empresa LAR CARBÓN. (1)

### 1 5.3 Producción de Vapor en Calderos.

La posibilidad de emplear carbón en las instalaciones para producir vapor en calderos existentes en casi todas las fábricas de alguna importancia representa un gran atractivo técnico y económico, por lo cual ha merecido la atención preferente en las actividades de investigación - conducentes al empleo del carbón en los países desarrollados.

En el Perú se calcula en unas 300,000 TM/Año el consumo de los derivados del petróleo en la operación de calderos para producción de vapor.

---

(1). Ver Bibliografía. Revistas Especializadas en Minería.

Desde el punto de vista técnico, merecen especial atención los sistemas que posibilitan el empleo de antracita y en tal sentido, hay dos casos que merecen ser tomados en cuenta: el sistema Spread stoker, adoptado en nuestro medio por el Ingenio Cartavio para su planta de generación de vapor y el sistema de Lecho fluidizado. (1)

#### 1.5.4 Siderurgia

La producción de hierro esponja de Marcona ofrece una posibilidad de empleo de la antracita peruana en la reducción directa usada en este proceso de gran expectativa, como mercado potencial de consumo.

Laminadora del Pacífico también se encuentra realizando pruebas para producir hierro esponja para su propia fundición con atracita peruana y disminuir el empleo de chatarra de hierro importado y caro que utiliza actualmente, disminuyendo sus costos de producción. (2)

---

(1) y (2). Ver Bibliografía. Revistas Especializadas en Minería.

### 1.5.5 Metalurgia

El mayor empleo de carbones nacionales en metalurgia dependerá de los resultados de una mayor actividad de prospección geológica y la adecuación de las técnicas empleadas a las características de los carbones peruanos. El consumo de carbón importado coquizable tipo Bradford por parte de Centromin Perú, asciende a unas 33,000 toneladas anuales. (1)

### 1.5.6 Generación de Energía Carboeléctrica

La instalación de plantas termoeléctricas a carbón en el Perú, debe ser considerada en lo referente a proyectos de mediano y gran alcance, como parte importante de un Plan Energético Integral.

En lo que se refiere a proyectos de interés local la instalación de Mini-carboeléctricas resulta bastante interesante por la gran capacidad térmica de la antracita; en forma especial para las zonas de la sierra norte y centro donde se produce carbón a un costo bajísimo en mina, donde re-

---

(1) Ver Bibliografía. Revistas Especializadas en Minería.

sulta más conveniente que otros sistemas, El proyecto de Alto Chicama tiene como objetivo el aprovechamiento de 59 millones de TM de reservas probadas, probables y posibles de carbón tipo mayormente antracita de ese yacimiento, para generar 460 MW de energía eléctrica.

Los estudios para su instalación en mina fueron realizados por Kopex de Polonia y posteriormente por Electro-Perú para quemar el carbón cerca al lugar de consumo.

Su consumo oscilará en caso de ser implementados entre 150,000 y 1'500,000 TM de antracita fina por año. (1)

#### 1.5.7 Mezclas Carbón - Petróleo

El consumo anual de 2.2 millones de toneladas anuales de petróleo residual N°6 ofrece un campo de acción formidable para el empleo de la alternativa mezcla carbón-petróleo, pues considerando que se pudiese reemplazar este combustible por MCP sólo en un 20% de instalaciones y éstas tengan un 40% de carbón, ello produciría un ahorro de 176,000 TM de petróleo y una posibilidad de

---

(1). Ver Bibliografía. Revistas Especializadas en Minería.



ingreso de divisas de unos 30 millones de dólares.

Desde hace 6 años, Petro Perú realiza una investigación a nivel de laboratorio de las mezclas carbón y petróleo con excelentes resultados en cuanto a la estabilidad de la mezcla. (1)

#### 1.5.8 Industria Azucarera

En caso de la industria azucarera, que utiliza en un balance energético el bagazo, resulta deseable su sustitución por carbón en lugar de petróleo, por representar el bagazo un valioso insumo para la industria del papel.

#### 1.5.9 Usos domésticos del carbón.

La utilización de briquetas de antracita para la cocina está dando muy buenos resultados en Corea, y se espera que en el Perú podrá reemplazar al kerosene doméstico subvencionado por el fisco (este subsidio alcanza el medio millón de dólares diarios).

En la actualidad, se quema en el Perú unos 5'500, 000 barriles de kerosene doméstico por año, equiva-

---

(1). Ver Bibliografía. Revistas Especializadas en Minería.

lentes a 1'000,000 TM de antracita.

Actualmente, se desarrollan dos proyectos relacionados con la fabricación de briquetas (80% de antracita y 20% de arcilla) de carbón para uso doméstico: a cargo de PROCARBON y PECOPMICTI.

Económicamente el empleo de briquetas de carbón debe representar para el usuario una opción de ahorro respecto a los sistemas actuales.

Su éxito dependerá en gran medida de la adecuación que se logre a nuestra particular realidad y de las acciones de apoyo y promoción con que se complementa. (1)

#### 1.5.10 Otras posibilidades de uso.

El gran desarrollo de la moderna tecnología de empleo del carbón ofrece grandes perspectivas, lo cual representa especial atractivo para nuestro país.

Los otros usos del carbón tipo antracita en la industria: en escobillas y trasmisores telefónicos, electrodos de carbón, recarburación de acero, refractarios de carbón, materiales para la construcciones no corrosibles, capa filtrante para la purificación de agua, revestimiento pa-

---

(1). Ver Bibliografía. Revistas Especializadas en Minería.

ra fundición, carbón activado, rellenos, pigmentos para pinturas, etc.

Zinc oxidados, aglomeración de minerales, producción de sulfuro de sodio a partir de la reducción de sulfuro de sodio, etc. (1)

#### 1.5.11 Demanda Potencial Proyectada.

La demanda potencial proyectada incluye las actividades industriales más importantes como

La Industria de Energía Eléctrica, Siderúrgica, Metalúrgica y otros de usos Industriales Energéticos. En la proyección INCITEMI considera una tasa de crecimiento de 5% anual, como se puede ver en el Cuadro No. 1.1.

---

(1) Ver Bibliografía. Revistas Especializadas en Minería.

CUADRO N° 1.1

DEMANDA POTENCIAL PROYECTADA DE CARBON AÑOS 1985-1995

AÑOS	ENERGIA ELECTRICA (TM)	SIDERURGIA (1) (TM)	METALURGIA (TM)	USOS IND.(2) ENERGETICOS (TM)	TOTAL DE CARBON EN (TM)
1985	1'662,000	878,200	121,100	2'203,400	4'687,700
1986	1'772,000	1'216,700	121,100	2'331,300	4'975,200
1987	1'802,000	1'502,800	121,100	2'467,200	5'183,600
1988	1'920,000	1'502,800	121,100	2'770,200	5'725,000
1989	2'178,000	1'502,800	121,100	2'940,200	6'572,100
1990	2'214,000	1'502,800	121,100	3'126,300	6'778,100
1991	2'358,000	1'502,800	121,100	3'322,500	7'108,400
1992	2'513,000	1'502,800	121,100	3'542,500	7'459,400
1993	2'550,000	1'502,800	121,100	3'778,700	7'716,400
1994	2'715,000	1'502,000	121,100	3'967,635	8'117,600
1995	2'850,750	1'502,800	121,100	4'166,017	8'523,480

Fuente: Unidad de Estudios Económicos.  
Instituto Científico y Tecnológico Minero-INCITEMI 1977

(1) Aquí se está considerando el 100% de los requerimientos de carbón aunque en el proyecto Sider-Perú se ha señalado que sólo el 30% de estos requerimientos serán abastecidos por el carbón de Oyón.

2 Está incluido Mine ía cemento harina de escado co e ativa z e e 'za e

### 1.6 Exportación del Carbón Peruano

La exportación de antracita peruana es posible para usos especiales donde interesa más la calidad que el precio.

Por lo pronto, MINPECO ha suscrito un Contrato de Venta carbonífera a Corea del Sur por un total de 69 mil toneladas métricas a ser embarcados en el presente año (1986) y así se ha abierto una vía de suministro al país Asiático para los próximos cinco años y por volúmenes mayores. (1)

### 1.7 Precio del Carbón en el Mercado Nacional

Los precios de antracita dependen ante todo, de su granulometría. En Lima se paga US\$30-35 por tonelada de carbón fino (8 mmØ) denominado "Cisco" que se usa principalmente en las ladrilleras y precios variables de acuerdo a la calidad y tamaño de trozos por antracita granulada, utilizada principalmente en fraguas y fundiciones, pudiendo exceder éstos a US\$ 120 TM. En Chimbote, Sider-Perú compra antracita fina a US\$ 45/TM para reduc -

---

(1) Ver Bibliografía. Revistas Especializadas en Minería.

ción directa de pallets de mineral de hierro. Complementando su propia producción proveniente de Pampahuay-Oyón.

Treinta dólares USA/TM por variedad fina paga el ingenio azucarero Cartavio, cerca a 90 dólares cuesta una tonelada de carbón en Arequipa. (1)

---

(1). Ver Bibliografía. Revistas especializadas en Minería.

## 2. ANTECEDENTES HISTORICOS

### 2.1 A Nivel Mundial

Los accidentes ocurridos en las minas de carbón a nivel mundial están estadísticamente registrados las más catastróficas, consideradas así por la espantosa matanza de los trabajadores mineros.

#### 2.1.1 Producción Mundial.

A nivel mundial los principales productores fueron los países como E.E.UU., Gran Bretaña y Alemania, y otros países en pequeñas escalas; remarcando así en 1913 una producción del 18.9% y en el año de 1932 representaron un crecimiento de producción del 32.5%, como se puede ver en el Cuadro Nº 2.1

CUADRO N° 2.1

PRODUCCION MUNDIAL DE CARBON

AÑOS	PRODUCCION (TM)	% PRODUCCION POR			
		PAISES			OTROS PAISES
		EE.UU.	G. BRETAÑA	ALEMANIA	
1913	1,342'300,000	38.6	21.8	20.7	18.9
1914	1,207'200,000	28.7	22.4	20.3	18.6
1915	1,193'200,000	40.5	21.6	19.7	18.2
1916	1,291'000,000	41.5	20.2	19.6	18.7
1917	1,356'000,000	43.6	18.6	19.4	18.4
1918	1,333'400,000	46.3	17.4	19.4	16.9
1919	1,172'900,000	42.8	19.9	17.9	19.4
1920	1,319'300,000	45.3	17.7	18.4	18.6
1921	1,134'000,000	40.5	14.6	22.9	22.0
1922	1,226'000,000	35.3	20.7	21.8	22.2
1923	1,360'000,000	43.9	20.7	13.3	22.2
1924	1,357'000,000	38.2	20.0	17.9	23.9
1925	1,372'000,000	33.8	18.0	19.9	23.3
1926	1,365'000,000	43.7	9.4	20.8	26.1
1927	1,473'000,000	36.8	17.3	20.7	25.2
1928	1,464'000,000	35.7	16.5	21.6	26.2
1929	1,560'000,000	35.4	16.8	21.7	26.1
1930	1,413'000,000	34.5	17.5	20.4	27.6
1931	1,256'000,000	31.9	17.8	20.1	30.2
1932	1,106'000,000	29.1	19.2	19.2	32.5

Fuente: Boletín de la Sociedad Nacional de Minería 1932-1933  
 PARTE II No metálicos.



### 2.1.2 Países Productores

En 1913 la producción mundial de carbón fué de 1,340 millones de TM y se esperaba que en 1914 llegaría a 1400 millones.

Pero, con motivo de la 1ra. Guerra Mundial, disminuyó mucho, bajando en 1915. El descenso de la cifra total, ha sido posteriormente detenido por el enorme desarrollo de la producción en EU que alcanza ya 600 millones de TM.

En el Cuadro se presenta cifras de 1913 que fué el último año normal, pues las estadísticas posteriores son muy deficientes. (Ver C-2.2)

### 2.1.3 Incendios y Explosiones ocurridos en el Mundo.

El cuadro estadístico a sido elaborado en base al estudio de incendios y explosiones, ocurridos a través de más de un siglo, con la finalidad de identificar causas y establecer la magnitud de los mismos. <sup>(1)</sup> (Ver C-2.3)

(1). Ver Bibliografía. Periódicos.

CUADRO N° 2.2

PAISES PRODUCTORES DE CARBON

PAIS	PRODUCCION	%
EE.UU.	516,953,919	38.6
Gran Bretaña	219,983,372	21.8
Alemania	277,283,200	20.7
Australia-Hungría	54,100,697	4.0
Francia	40,913,449	3.1
Rusia	33,729,951	2.5
Bélgica	23,220,071	1.7
Japón	21,757,381	1.6
India	16,474,617	1.2
China	13,616,045	1.04
Canadá	13,616,045	1.0
Nueva Gales	10,579,126	0.79
Transvaal	7,579,126	0.55
España	4,291,604	0.32
Nueva Zelanda	1,919,061	0.14
Holanda	1,872,599	0.13
Chile	1,283,450	0.09
Queensland	1,054,385	0.08
México	891,033	0.07
Bosnia y Herzegovina	841,010	0.062
Turquía	924,729	0.061
Italia	700,931	0.05
Victoria	606,351	0.045
Orange	553,246	0.040
Indo China	427,434	0.031
Indias Holandesas	410,994	0.030
Suecia	363,887	0.027
Australia	318,980	0.023
Servia	303,845	0.022
Bulgaria	294,331	0.021
Formosa	278,395	0.0207
Perú	273,945	0.0204
Rhodesia	215,619	0.016
Tasmania	55,915	0.004
Borneo	45,134	0.003
Portugal	25,081	0.002
Venezuela	12,113	0.001
T O T A L	1,339,902,362	100%

Fuente. Boletín del Cuerpo de Ingenieros de Minas N°96.

Imp. América Sto. Toribio. Lima 1920.

Ing. Carlos Jimenez.

Según datos estadísticos oficiales y el US. Geological Survey.

CUADRO N° 2.3

ACCIDENTES OCURRIDOS A NIVEL MUNDIAL

FECHA	PAIS	LUGAR	MINA	CAUSAS	MUERTOS	HER.
1869	Alemania		Burg	Lámparas a fuego vivo empleadas en la mina que se consideran exentas de grisú.	276	-
1877	Escocia	-	Blantyre	Lámparas a fuego vivo empleados en la mina que se consideran exentas de grisú.	210	-
10.03. 1906	Francia	Paso de Calais	Courrieres	El incendio que originado por la explosión de gas en las tres cámaras, murieron asfixiados, quemados por derrumbes (trabajaban 1800 mineros).	1099	-
06.12. 1907	EE.UU.	Virginia Occ.	Momongol	Se produjo una terrible explosión, oyó a 10 millas, luego quedó incendiada, se trató de apagar el incendio y ventilarla (trabajaban 400 mineros).	361	-
19.12. 1907	EE.UU.	Pensil-	Jacobs Creek	Se produjo una terrible explosión e inmediatamente comenzaron a salir por las bocaminas llamas y densas nubes de humo, debido al incendio era imposible salvar mineros (trabajaban 400 mineros).	239	-
13.11.1909	EE.UU.	Jullio-nois	Cherry	Se produjo explosión de grisú, cerraron la boca con la esperanza de apagar el fuego, murieron asfixiados y quemados (trabajaban 580 mineros).	259	-

FECHA	PAIS	LUGAR	MINA	C A U S A S	MUERTOS	HER.
De 1889-1909	EE.UU.	-	-	En los desastres ocurridos en minas de carbón, por explosión y siniestros.	23,000	50,000*
22.10.1913	EE.UU.	Dawson	STAG	A consecuencia de una explosión se desarrolló un gran incendio quedando 280 mineros encerrados, era imposible entrar a la mina.	263	-
15.12.1915	Japón	Fukuoka	-	Se produjo explosión de gas, luego se propagó fuego, llamas el desastre más grande del Japón.	687	-
1946	Alemania	Ruhr	-	Explosión que originó el siniestro, mató mineros.	402	-
1950	Alemania	Gelsenkirchen.	-	Se produjo explosión, asfixiados y quemados, murieron mineros.	107	-
08.08.1956	Bélgica	Marcinell	Corazón Amargo	Quedaron atrapados en el fondo de la mina debido al intenso calor de las llamas que provocó la tremenda catástrofe en uno de los túneles. Se produjo un incendio.	262	-
1959	Japón	-	-	Murieron por efecto de las llamas y el humo	7**	-
21.01.1960	Sudáfrica	Coalbrock	Clydesdale	Quedaron atrapados por deslizamiento de rocas a 200 mts. bajo superficie, al malograrse el sistema de ventilación, el aumento la concentración del gas metano se produjo la explosión, incendio y asfixia (trabajaban 506 mineros).	437	-
1960	República Checa	Čáslav	-	Explosión seguida de incendio y humo mató a mineros.	109	-

**Continuación Cuadro 2.3**

<b>07.02.1962</b>	<b>Alemania</b>	<b>Voelklinger</b>	<b>Luisenthal</b>
<b>09.11.1963</b>	<b>Japón</b>	<b>Omuta</b>	<b>Mitsui- Mikawa</b>
<b>17.05.1965</b>	<b>Gales</b>	<b>Rhondda</b>	<b>Cambricos</b>
<b>28.05.1965</b>	<b>India</b>	<b>Hazaribagh</b>	<b>Bhorf</b>
<b>01.06.1965</b>	<b>Japón</b>	<b>Kyuchu</b>	<b>Yamano</b>
<b>30.12.1970</b>	<b>EE.UU.</b>	<b>Kentucky</b>	<b>Wooten</b>
<b>06.06.1972</b>	<b>Rhodesia</b>	<b>Wankie</b>	<b>Wankie</b>

Se atribuyó la explosión a polvo de carbón, una lengua de fuego de unos 30 mts. de largo subió del 2do. al 4to. nivel cuando llegó se registró una gigantesca explosión (habían 480 mineros).	298	-
Se produjo la explosión del gas originando llamas y asfixia. La mina estaba dotada de equipos modernos, produce 5'000,000 TM/año (Trabajaban 1221 mineros).	447	-
Una misteriosa explosión se propagó por toda la mina, cuando se produjo el siniestro habían 80 mineros, algunos fueron rescatados con heridas y shocks nerviosos.	28	13
No se sabe que es lo que provocó la explosión (estaban trabajando 400 mineros).	375	
Explosión de gas, produjo fuego y asfixia (habían trabajando 550 mineros).	236	32
Explosión del gas grisú y poco después del estallido se llenó de fuego, humo monóxido.	38	-
Una estruendosa Explosión sacudió, rápidamente la galería fue invadido por gases, humo, fuego, se destruyó el sistema de ventilación (trabajaban 468 mineros).	427	-

Continuación Cuadro 2.3

1974	Francia	Lorena	Vouters	Se produjo un siniestro más grave.	42	-
27.12.1975	India	Dhambad	Bihar	Al producirse la explosión quedaron atrapados en dos filones, después del estallido los pazos se inundaron con los mineros en el interior, el fuego se propagó (trabajaban 900 mineros).	372	-
05.12.1984	China	Taipei	Taiwan	A causa del derrumbe se produjo explosión, atrapó una cámara sellada que contenía gas, es el tercer desastre en menos de seis meses, (habían 95 mineros trabajando).	27	-
25.02.1985	Francia	Lorena		Por una excesiva acumulación de gas metano se produjo una explosión o recalentamiento el fuego se propagó.	22	103

\* Es un resumen de los muertos y heridos de los accidentes catastróficos ocurridos en 20 años en las minas de carbón en los EE.UU. (1889-1909). Fuente: Comercio, 13 de Noviembre 1909.

\*\* No está considerado como accidente catastrófico.

#### 2.1.4 Muertos en accidentes por otras causas.

En las minas de carbón mueren en accidentes por otras causas, decenas de trabajadores anualmente. Este promedio anual es sin considerar muertos en incendios y explosiones. (Ver C-2.4)

#### CUADRO N°2.4

PROMEDIO DE MUERTOS 1908 - 1909

PAIS	PROMEDIO DE MUERTOS
Estados Unidos	38
Rusia y España	20-25
Alemania	16-18
Gran Bretaña	13
Francia	11-12
Bélgica	10

Fuente: Boletín del Cuerpo de Ingenieros de Minas del Perú N°78, 1911.



## 2,2 En el Perú

Desde la época de la colonia se ha explotado el carbón en el Perú en forma local, con fines domésticos y realizada de la manera artesanal que con pocos cambios subsiste hasta la fecha en la pequeña minería diseminada que en el presente - siglo ha mantenido una producción casi constante, a pesar de la variación de la demanda.

Según los datos en 1855 por el erudito Don Manuel Eduardo Rivero y Ustariz en sus Memorias Científicas, la primera aplicación industrial - del carbón en el Perú, se hizo en 1816 en calderas a vapor instaladas en Cerro de Pasco para accionar bombas de desagüe en las minas. Desde la proclamación de la Independencia hasta el estallido de la primera Guerra Mundial, el consumo industrial de combustibles en el país, se abastecería con carbón mineral importado en su mayor parte, el carbón producido en el país no podía competir con el extranjero porque tenía que ser transportado en acémilas: se consumía - solamente en plantas metalúrgicas situadas cerca de sus yacimientos.

Como consecuencia del conflicto bélico mundial, ocasionaron la escasez y encarecimiento del carbón extranjero, entonces pudo ser reemplazado -

por el producido en el país, se produjo una crisis en el aprovisionamiento de combustibles sólidos, los que en tal emergencia, tuvieron que sustituirlos de inmediato por combustibles residuales derivados del petróleo de producción nacional, por su disponibilidad, abundancia, comodidad y resultaba muy barato en comparación al carbón.

Eliminando así durante una buena época las posibilidades de desarrollo de la minería carbonífera, al no existir mercado de consumo.

En la actualidad, al producirse la elevación del precio del petróleo y crearse condiciones propicias para alentar el empleo mayoritario del carbón en usos energéticos e industriales, resulta abundante y barato en nuestro país. (1)

### 2.2.1 Producción Nacional

La empresa Cerro de Pasco Copper Corporation, inició en 1906 la explotación del yacimiento de Goyllarizquizga, habiéndose extraído hasta la fecha aproximadamente de 8-9 millones de toneladas que excede el resto de la producción nacional.

---

(1). Ver Bibliografía. 9.3.1

La única explotación de carbón en gran escala que ha existido y existe en el Perú, es la de las hulleras de Goyllarisquizga, que suministraba combustible para la fundición de Tinahuarca y para el consumo del ferrocarril de Cerro de Pasco.

Todas las demás minas se trabajan en escala muy reducida y su pequeña producción se utilizaba - en la metalurgia, excepto una mínima parte que se dedica a usos domésticos. (1)

La industria del carbón en el Perú ha marcado su record más bajo de producción en 1932, habiendo llegado al nivel que tenía en 1903. Esta baja, se debe a la gran depresión, que ocasionó la Cerro de Pasco Copper Corporation, la primera productora de carbón en el Perú; y la que contribuyó con el 87% en la producción total de carbón en el periodo 1903-1931:

1. Redujo la capacidad de la fundición en la Oroya, que rendía 50,000 toneladas de lingotes de cobre de convertidores, anualmente menos del 50%.

(1) Ver Bibliografía. 9.3.1

CUADRO N° 2.5

PRODUCCION DE CARBON EN EL PERU - PERIODO 1903 a 1941

AÑOS	Cerro de Pasco Copper C. Golla- risquizga Quis- huarcancha	Northen Perú Mining & Sme- ting. (Collacuyan)	Comp. des Mines de Huaran Sto. Dom. y Otr.	Diversas Compañías Nacionales	Producción Total (TM)	Valor S/.
1903	10,000			26,920	36,920	516,880
1904	23,285			36,635	59,920	898,880
1905	47,000			28,308	75,308	1'000,000
1906	52,000			27,469	79,969	1'381,550
1907	150,000			35,065	185,565	1'071,160
1908	291,000			19,622	311,122	1'408,840
1909	290,000			31,002	321,502	1'923,560
1910	275,000			31,820	307,320	1'789,720
1911	299,804			23,696	324,000	1'941,550
1912	259,000			19,427	278,927	1'803,260
1913	237,170			36,275	273,945	1'992,500
1914	255,829			27,031	283,860	2'051,670
1915	266,142			23,601	290,743	2'083,900
1916	291,510			26,553	319,063	1'586,890
1917	319,104		8,000	33,491	353,595	2'023,130

Continuación CUADRO 2.5

1918	301,991		1,403
1919	291,916		1,192
1920	321,357		1,275
1921	309,268		1,634
1922	263,342		1,375
1923	212,720		1,317
1924	141,235		1,734
1925	95,403		1,018
1926	160,932	4,480	690
1927	145,968	8,740	982
1928	146,130	27,088	981
1929	180,141	31,123	1,741
1930	163,433	31,546	1,882
1931	118,069	18,841	210
1932	23,775	-	-
1933	27,394		
1934	-	-	-
1935	-	-	-
1936	-	-	-
1937	-	-	-
1938	-	-	-
1939	-	-	-
1940	-	-	-
1941	-	-	-

Fuente: Boletín del Cuerpo de Ingenieros de Minas del

42,832	346,226	2'277,150
51,152	344,260	2'638,680
55,605	378,237	2'769,880
46,413	357,315	2'688,780
38,562	303,321	2'255,200
38,863	253,000	1'905,410
11,543	154,512	2'342,200
5,328	101,749	1'210,670
4,658	170,760	1'849,900
6,317	162,007	2'057,000
4,295	178,494	2'218,400
5,108	218,113	2'938,327
4,635	201,641	2'706,199
3,432	140,552	1'531,878
2,048	25,823	425,375
2,681	30,075	513,572
-	35,321	-
-	85,044	-
-	89,622	-
-	99,041	-
-	75,447	-
-	107,968	-
-	113,455	-
-	117,193	-

Perú N°80,100.

2. Procedió a emplear petróleo en vez de carbón en la fundición de la Oroya.

La Northern Perú que es la segunda productora de carbón a partir de 1926 y que contribuyó a la producción de carbón con el 15%, en 1930, paralizó sus labores de extracción en las minas de Antracita de Callacuyán en Agosto de 1931 a causa de la baja en las cotizaciones del cobre y la plata, que ocasionaba pérdidas mensuales a la Compañía estimadas en S/. 30,000.<sup>(1)</sup>

#### 2.2.2 Producción por su calidad

La producción de carbón bituminoso, alcanzó de 86,087 TM en 1936 a 96,123 en 1937. El mayor productor de carbón en el Perú como en años anteriores fué la Cerro de Pasco Copper Corporation.

La producción de carbón antracitoso continuó siendo muy limitado, habiendo llegado en 1937 a ser de 2918 TM.<sup>(2)</sup> (Ver C-2.6)

---

(1) y (2) Ver Bibliografía, Punto 9.3.1

CUADROS 2.6

PRODUCCION DE CARBON POR SU CALIDAD. AÑOS 1925-1937

ANOS	CARBON BITUMINOSO	CARBON ANTRACITOSO	ASFALTITOS BITUMINOSOS	PRODUCCION TOTAL (TM)	VALOR S/.
1925	98,562	2,169	1,018	101,749	1'210,670
1926	164,435	5,635	690	170,760	1'849,900
1927	150,549	10,536	982	162,067	2'057,000
1928	149,174	28,339	981	178,494	2'938,327
1929	183,144	35,719	1,741	220,604	2'938,327
1930	166,768	32,719	1,882	201,369	2'706,199
1931	119,351	21,201		140,552	1'531,878
1932	23,775	2,048		25,823	425,375
1933	27,394	2,681		30,075	513,572
1934	31,721	3,600		35,321	342,233
1935	82,583	2,461		81,044	794,219
1936	86,087	3,535		89,622	806,598
1937	96,123	2,918		99,041	989,303

Fuente : Boletín del Cuerpo de Ingenieros de Minas N°80.



### 2.2.3 Producción por departamentos

El único yacimiento de carbón explotado en gran escala, es el de Goyllarisquizga, en la provincia de Cerro de Pasco.

Después del departamento de Junin, el que tiene importancia como productor de carbón es el de Ancash cuyas provincias de Huaraz, Huarí y Pallasca suministran antracita, de Cajatambo hu-lla de buena calidad, y los departamentos de Cajamarca, Huánuco y La Libertad, en menor escala de producción del carbón antracita en el año 1912 y en el año 1918 sus producciones se incrementa.

El detalle de la producción, según los informes transmitidos oficialmente, se consigna en los cuadros No. 2.7 y No. 2.8 (1).

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.3.1

CUADRO N° 2.7

PRODUCCION DE CARBON POR DEPARTAMENTOS. AÑO 1912

DPTO.	PROVINCIA	CALIDAD	PRODUCCION (TM)	TOTAL
ANCASH	Cajatambo	Hulla	3,000	4,854
	Pallasca	Antracita	676	
	Huaylas	Antracita	128	
	Huari	Antracita	350	
	Huarez	Antracita	700	
CAJAMARCA	Hualgayoc	Antracita	83	1,465
	Cajamarca	Hulla	886	
	Cajabamba	Antracita	496	
HUANUCO	Dos de Mayo	Antracita	350	350
JUNIN	Cerro de Pasco	Hulla	266,088	272,068
	Yauli	Asfaltita	5,800	
	Jauja	Hulla	60	
	Huancayo	Hulla	120	
LA LIBERTAD	Huamachuco	Antracita	60	190
	Santiago de Chuco.	Antracita	120	
TOTAL ANUAL :				278,927

Fuente: Boletín Cuerpo de Ingenieros del Perú N° 80.Lima 1914.

CUADRO N° 2.8

PRODUCCION DE CARBON POR DEPARTAMENTO. AÑO 1918

DEPARTAMENTO	CALIDAD	PRODUCCION	TOTALES
Ancash	Antracita	1500	1500
Arequipa	Hulla	400	400
Cajamarca	Antracita	450	450
Huánuco	Antracita	500	500
Junín	Hulla	316,661	
	Asfaltita	14,915	331,576
Libertad	Antracita	1800	1,800
Lima	Hulla	10,000	

Fuente: Boletín del Cuerpo de Ingenieros de Minas del  
Perú N° 96. Lima 1920.

#### 2.2.4 Importaciones de Carbón.

El Perú importó carbón de los países productores más importantes como: Gran Bretaña, Australia Alemania, Estados Unidos, Bélgica, Chile, Japón, Francia y otros países, antes del estallido de la Primera Guerra Mundial. Esta Guerra Mundial alteró causando escasez del combustible sólido.

Así estos países no exportan el carbón al Perú en tal sentido nuestro país se ve en la necesidad de explotar sus recursos propios y/o sustituir por el petróleo. En el siguiente Cuadro No. 2.9 presentamos el total de carbón importado desde el año 1904-1919 y el precio de compra se hacía en libras peruanas (LP).

CUADRO N° 2.9

IMPORTACION DE CARBON

AÑO	CANTIDAD (TM)	PRECIO
1904	112,900	LP 225,800
1905	87,900	175,800
1906	121,400	242,800
1907	122,245	244,490
1908	193,706	387,412
1909	97,023	194,046
1910	80,933	161,866
1911	83,102	166,204
1912	78,949	157,896
1913	150,660	301,320
1914	139,312	306,486
1915	55,662	166,986
1916	82,373	370,678
1917	77,487	627,642
1918	61,865	507,377
1919	79,711	654,857
.	.	.
.	.	.
1936	2,253	S/. 71.540
1937	3,280	S/. 142,601

Fuente: Boletín del Cuerpo de Ingenieros de Minas  
del Perú N° 77,80,122  
Lima, 1914-1937.

#### 2.2.5 Producción comparativa de Carbón y Petróleo.

Es muy importante ver la producción comparativa y el desarrollo de la industria del carbón y petróleo en el Perú, por haber cumplido un papel preponderante en el desarrollo energético socio-económico y político del país. (1).

Antes de 1903, no hubo explotación carbonífera a nivel industrial, por lo tanto, no se registraron estadísticas de producción elaborados.

En 1906, se consolidó la explotación industrial con la apertura de las minas carboníferas de Goyllarisquizga, desde entonces representó la mayor producción del carbón nacional, como se puede ver en el Cuadro No. 2.10.

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.3.2.

CUADRO N° 2.10

PRODUCCION DE PETROLEO Y CARBON

EN EL PERU

1 TM = 7.5 Barriles

AÑO	PETROLEO (TM)	CARBON (TM)
1884	776 (1)	
1885	1,003	
1886	1,005	
1887	2,133	
1888	2,152	
1889	2,324	
1890	4,133 (2)	
1891	15,000	
1892	22,000	
1893	15,000	
1894	12,500	
1895	12,500	
1896	12,500	
1897	13,127	
1898	20,000	
1899	26,888	
1900	40,000	
1901	39,000	
1902	32,073	

Continuación CUADRO 2.10

ANO	PETROLEO (TM)	CARBON (TM)
1903	37,079	36,920
1904	38,683	59,920
1905	49,700 (3)	85,308
1906	70,832	79,969
1907	100,184	185,565
1908	125,948	311,122
1909	188,128	321,502
1910	167,712	307,320
1911	195,270	324,000
1912	233,600	278,927
1913	273,459	273,945
1914	244,923	283,860
1915	343,838	290,743
1916	345,758	319,063
1917	347,092	353,595
1918	335,001	346,226
1919	348,649	344,260
1920	373,249	378,237
1921	488,669	357,315
1922	700,619 (4)	303,321
1923	751,710	253,000
1924	1'045,547	154,512
1925	1'219,954	101,749



Continuación Cuadro 2.10

AÑO	PETROLEO (TM)	CARBON (TM)
1926	1'427,254	170,760
1927	1'340,599 (5)	162,007
1928	1'591,552	178,494
1930	1'655,583	201,641
1931	1'339,611	140,552
1932	1'318,206	25,823
1933	1'761,733	30,075

Fuente: Boletín de la Sociedad de Minería parte II,  
Lima 1932.1933. No metálicos.

- (1) Don Diego de Lama en 1862, fué el primero que perforó pozos y logró exportar petróleo y en F.G.Piaggio como único dueño logró poner en estado de producción industrial.
- (2) En vista del éxito de Zorritos, el Sr. Tweddle compró los 41,614 pertenencias que forman la Brea y Pariñas y en 1913 la vendió a la INTERNATIONAL PETROLEUM CO.
- (3) La compañía "THE PERUVIAN PETROLEUM SYDICATE", explotaba ya la zona de Lobitos desde 1901.
- (4) Se comienza la extracción de gasolina natural de los pozos de la INTERNATIONAL PETROLEUM CO.
- (5) La "Compañía Petrolera Lobitos" Principia a extraer gasolina natural de sus pozos.

## 2.2.6 Costo de Producción.

El costo de producción en cancha de 1 tonelada métrica de carbón en Goyllarisquizga y otros, resultaba más caro en comparación con la producción de 1 tonelada métrica de crudo de petróleo en la década del año 1930, como se puede ver en el siguiente cuadro.

CUADRO N° 2.11

## COSTO DE PRODUCCION DE CARBON Y PETROLEO

AÑO	1. TM/PETROLEO	1 TM/CARBON
1930	S/. 5.96	S/. 9.00-10.00
1931	5.96	9.30-11.00
1932	5.96	9.70-12.00
1933	5.96	10.00-15.00

Fuente: Boletín de la Sociedad de Minería  
Parte II-1932-1933 No metálicos.

### 2.2.7 Incendios y explosiones ocurridos en el Perú

La producción de carbón en 1910 fué inferior, la disminución se debió a los dos grandes accidentes ocurridos en Goyllasrisquizga en los meses de Enero y Agosto, que entorpecieron la explotación, a la vez que ocasionaron una gran escasez de brazos, por la resistencia de los indígenas a trabajar en dichas minas.

El cuadro está elaborado en base al estudio de los casos de incendio y explosiones sucedidas a través de muchas décadas de actividad carbonífera en el país. <sup>(1)</sup> (Ver C-2.12)

### 2.2.8 Accidentes fatales ocurridos por otras causas.

No es posible conocer el número de accidentes ocurridos en todos los distritos mineros del país, a causa de no encontrarse debidamente organizados el servicio de estadística en el año 1911.

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.1

CUADRO N° 2,12

ACCIDENTES OCURRIDOS EN EL PERU

LUGAR	FECHA	MINA	CAUSAS	MUERTOS	HERIDOS
CERRO DE PASCO (Cerro de Pasco Mining Comp).	22.01.1910	Goyllarisquizga	Causas de la explosión han sido pues el fuego de los tiros comunicado al polvo de carbón, que produjo una explosión a una distancia -- 1,450 pies. Naturaleza de las quemaduras de -los muertos y rotura de marcos prueban que explosión fué del polvo de carbón, detalles comprueban que no existió grisú.	29	55
CERRO DE PASCO (Cerro de Pasco Mining Comp).	10.08.1910	Goyllarisquizga	Se cree que la explosión de polvo de carbón y gases fue consecuencia de los tiros de dinamita, luz eléctrica; los gases, humos impiden las labores de salvataje (trabajaban dentro de la mina 300 mineros).	61	20
CERRO DE PASCO	1918	Goyllarisquizga	Producido por la inflamación de polvo de carbón en la mina.	13	-
CERRO DE PASCO (Cerro de Pasco Mining Comp.)	20.12.1964	Goyllarisquizga	Se presume que la explosión fué originada al -- producirse una combustión del polvo de carbón con las emanaciones del gas metano, que fueron estimuladas por el estallido de los cartuchos dinamita (74 cartucho que se hizo explorsionar).  * El control de gas a las 10 pm. arrojaba 2.5 de saturación, con lámparas DAVY y a 1.10 cm. arrojaba 3.4 donde debieron paralizar el trabajo.	75	-

La moderna ley de accidentes de trabajo de entonces, cuya aplicación podría servir de control, no se divulgó lo suficiente se contentaban con recibir de la Empresa una indemnización arbitraria.

La Cerro de Pasco Mining Company, que era la empresa más poderosa de ese asiento, en todos los casos de accidentes fatales ha hecho transacciones con los deudos de las víctimas, mediante el pago de los gastos de inhumanación, los salarios devengados y una indemnización de LP 20-30.

Las empresas se limitan, por lo general en aquellos años a comunicar los accidentes fatales, sólo los que son difícil de ocultar, rara vez informaban, a los heridos no se les tomaba en cuenta. Las cifras que aparecen, desgraciadamente son muy bajas respecto a la realidad y en cuanto a heridos no se puede estimar siquiera. Los delegados de minería estaban encargados a ejercer vigilancia en los trabajos mineros y de velar por el cumplimiento del Reglamento de Explotación de Minas de carbón y del Reglamento de Policía Minera; pero la ley no les dá los medios de dar verdadera fuerza a su autoridad, porque no establecía sanción para los que in-

cumplen, a esto se debe que su intervención no sea eficaz como debería ser. Dentro de este panorama, el estado supervigila a las minas carboníferas, en asegurar que la minería cumpla al servicio de un plan de desarrollo, su rol de productor con la máxima eficiencia y seguridad, así los inspectores encargados por el estado y remunerados por el Fisco, hacen cumplir el reglamento de explotación de minas de carbón.

Logrando de esta manera convertir las peligrosas minas de Goyllarisquizga, en explotaciones seguras, disminuyéndose así los accidentes, como se puede ver en los Cuadros No. 2.13 y 2.14 (1).

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.3.1.

CUADRO N° 2,13

ACCIDENTES OCURRIDOS EN LA MINA GOYLLARISQUIZGA

C A U S A S	A Ñ O S			
	1911	1912	1918	1919
Explosión de polvo de carbón	3	-	-	-
Desplome de carbón	8	13	1	
Arrollado por un carro y plataforma.	6	9	3	2
Desplome de roca y desmonte	2	1	-	1
Golpe de un carro y madera	2	-	-	-
Caidas varios (madera, de carro, etc)	5	-	-	1
Asfixia en lugares abandonados	1	2	1	1
Explosión de taladro y chicotazo de cable.	1	-	2	-
Descarrilamiento de carros	-	-	-	4
Derrumbe de terreno	-	-	-	2
Golpes en la cabeza	-	-	-	2
<b>TOTAL DE MUERTOS</b>	<b>28</b>	<b>25</b>	<b>7</b>	<b>13</b>

Fuente: Boletín Cuerpo de Ingenieros de Minas  
 Estadística Minera del Perú  
 Ing. Carlos P. Jiménez  
 N° 78,80,96,100.

CUADRO N° 2.14

ESTADISTICAS DE ACCIDENTES DE LA MINA GOYLLARISQUIZGA  
RESUMEN GENERAL COMPARATIVO DE LOS AÑOS 1969-1971

RESUMEN ESTADISTICOS	A Ñ O S		
	1969	1970	1971
N° de centros de trabajo	1	1	1
N° de obreros	705	695	707
N° de empleados	47	46	46
Total de personal	752	741	753
Accidentes incapacitantes	6	11	7
Accidentes fatales	2	-	1
Total de accidentes	8	11	8
Días de inhabilitación	12788	1017	7150
Millares de H.H.T.	1693	1536	1192
Indice de frecuencia	4.72	6.51	6.71
Indice de severidad	7555	662	5996

Fuente: Ministerio de Energía y Minas  
Dirección General de Minería  
Estadística de Accidentes Mineros 1970 y 1971.



2.2.9. Accidentes fatales ocurridos en la industria minera.

Los distritos de Cerro de Pasco y Yauli eran las minas más importantes en la Industria Minera del Perú<sup>(1)</sup>.

El número de operarios muertos por accidentes en la industria minera, durante los años 1908 - 1919 han sido los siguientes : (ver C-2.15).

CUADRO N° 2.15  
OPERARIOS MUERTOS EN CERRO DE PASCO Y YAULI

AÑOS	N° DE MUERTOS
1908	44
1909	26
1910	125
1911	40
1912	44
1913	40
1914	41
1915	33
1916	55
1917	43
1918	52
1919	38

Fuente: Boletín del C.I.P. N° 100  
Estadística Minera.

### 2.2.10 Legislación Carbonífera

En el primer Código de minería, promulgada en el año 1900, no existió artículo específico que estipule de alguna manera la actividad carbonífera a nivel industrial, en el país.

La legislación empieza con el inicio en 1906, la explotación del yacimiento de Goyllarisquizga por la empresa Cerro de Pasco Cooper Corporation.

La legislación carbonífera se ha enriquecido con reglamentos, leyes, decretos, resoluciones, aprobadas a consecuencia de los incendios y explosiones ocurridas en la mina de Goyllarisquizga, que están incluidas en los códigos de Minería de Marzo de 1924, el Código de 1950 y el D.L. 18880 que sigue vigente en la actualidad.

#### 2.2.10.1 Código de Minería de 1924

Recoge Resoluciones Supremas, Reglamentos y Leyes.

- Reglamento para la explotación de las minas de carbón en el Perú, Decreto Supremo del 28 de \_ 1910, es elaborada y aprobada a consecuencia del accidente ocurrido el 22 de Enero del mismo año, se reglamenta el procedimiento que debe seguirse en la explotación de minas de carbón, adoptan - medidas que impidan en lo posible los acciden - tes desgraciados (Ver anexo N°1).

- Reglamentación de la explotación en las minas de carbón, de Goyllarisquizga en particular, y de todas las de la República en general, Es elaborada por el consejo superior de Minería y aprobada por Resolución Suprema de 26 de Agosto del mismo año (Ver Anexo 02).

- Ley N° 1378 de Accidentes de trabajo, 20 de Enero de 1911; en el art. 3.- En la industria minera la obligación impuesta por la presente Ley se aplica a:

Inciso 3. Las minas salinas, canteras, yacimientos de carbón de petróleo, de borato, de salitre, de guano y otras sustancias similares, donde se emplee un número mayor de treintaicinco operarios.

La misma Ley fija la asistencia Médica por accidentes, Título II Indemnización por Accidentes, Título III y la Declaración de los accidentes y procedimientos judiciales, título IV.

- Art. 19 del Código fija la unidad de medida para las pertenencias, dice textualmente: en los yacimientos de carbón y de petróleo, en los placeres y yacimientos málogos de oro, plata, estaño, etc. las pertenencias tendrán base cuadrada con lado de doscientos metros. <sup>(1)</sup>

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.5

#### 2.2.10.2 Código de Minería de 1950

Creada por Ley N° 11357 del 12 de Mayo de 1950, establece acerca el laboreo en minas de carbón en los artículos comprendidos de 242-262.

En el artículo 242, define lo que son las minas de carbón y el combustible sólido.

En el artículo 256, establece que al descubrirse peligro potencial de explosión o incendio el administrador o superintendente tomará medidas para desaparecer dicha condición en forma inmediata y dará aviso a la Jefatura Regional de Minería correspondiente.

En el capítulo I, art. 1-4. Reglamenta la Seguridad e Higiene para la industria minera y metalúrgica.

En el Capítulo II, Art. 9. Establece la formación del Comité de Seguridad y su constitución

En el Capítulo III. Arts. 18-25. Estipula que todo concesionario tiene obligación de establecer las condiciones seguras en la mina, en el art.19 dice, en zonas que se prevee posibilidad de desastres, tales como hundimiento, golpes de agua, incendios escape de gases, etc., será obligación de la mina efectuar por lo menos una vez al mes simulacros de accidentes con el fin de familiarizar al personal obrero.

En los Arts. 302-310 establece la formación y el número de componentes de salvamento minero, en el art. 302, dice que en un centro de trabajo de labores subterráneas donde emplee más de 100 personas, tendrá una cuadrilla permanente de no más de 10 hombres, bien adiestrados y provistos de implementos. (1)

#### 2.2.10.3 Ley General de Minería D.L. 18880

En el Reglamento de Bienestar y Seguridad Minera en la sección Décimo cuatro, referido a las minas de carbón del Art. 321-349 estipula las condiciones de seguridad y procedimientos a seguir en la explotación de las minas de carbón.

El Reglamento de este D.L. sigue vigente, en la actualidad para las minas de carbón. (2)

#### 2.2.10.4 Ley General de Minería Decreto Legislativo N° 109

En el Art. 328, establece la obligación a establecer programas de bienestar, seguridad e higiene, de acuerdo con las actividades que realicen.

---

(1) y (2). Ver Bibliografía. Punto 9.5

En el Art. 330, establece que en cada centro de trabajo se organizará un comité de seguridad e higiene, en el que estarán representados los trabajadores. El reglamento establecerá la composición y funciones de este comité.<sup>(1)</sup>

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.5

### 3. METODOS DE EXPLOTACION

De las características geográficas y geológicas de los recursos carboníferos del Perú, se establece el laboreo minero, para cada yacimiento ya sea a tajo abierto, llamado también a cielo abierto, resulta menos riesgosa su explotación; y la explotación subterránea, llamada también por galería, comúnmente más conocido por socavones, resulta muy riesgosa, históricamente se han registrado grandes catástrofes mineros, como consecuencia del incendio y explosión producidos por el gas grisú y el polvo de carbón.

En la explotación subterránea, los métodos pueden aplicarse según el buzamiento y otros factores que presentan los yacimientos, pueden ser:

Capas horizontales	de	0°-20°
Capas inclinadas	de	20°-60°
Capas verticales	de	60°-90°

### 3.1 Terminología

#### BUZAMIENTO

Angulo de la línea de máxima pendiente de una vena, falla; con respecto al plano horizontal.

#### DIRECCION

La dirección de los cuerpos está definida de acuerdo a la orientación de los puntos cardinales.

#### ESTRATO

Masa en forma de capa que constituye los terrenos sedimentarios.

#### EXPLOTACION

Conjunto de operaciones que permiten el arranque y la extracción del mineral y aseguren todos los servicios anexos de una mina en su fase de producción.

#### EMPAQUETADO

Consiste en el bloqueo de arcos de fierro, usando para ello madera entre arco y arco.



**FALLA**

Desplazamiento o rotura del terreno donde suelen presentar intersecciones de otras rocas, generalmente de tipo arcilloso.

**FRANJA**

Parte del yacimiento limitado por dos planos - paralelos horizontales, verticales o inclinados y que en ciertos métodos, constituye una unidad de explotación.

**MANTO**

Capa o estrato sin plegar, de poca altura y mucha extensión, especialmente si es explotable.

**POTENCIA**

Espesor del yacimiento entre techo y muro, medido perpendicularmente a los hastiales.

**YACIMIENTO**

Cuerpo constituido por minerales y rocas que pueden ser explotadas para su beneficio y posterior tratamiento, con rendimiento económico.

### 3.2 Clasificación de los Carbones en General

La clasificación adoptada por el American Geological Survey, para la determinación de los recursos carboníferos de EE.UU., usa tanto el análisis químico como las propiedades físicas, para determinar la clase del carbón en su cambio progresivo de lignito a antracita.

Es como sigue:

#### Turba

Es un carbón que tiene aproximadamente los siguientes constituyentes:

Humedad	85%
Materia Volátil	10.4%
Carbón fijo	4.6%
Valor calorífico	1,290 BTU

#### Lignito

Es de color marrón, aspecto de madera, o compuesto de tejidos finamente divididos de plantas o amorfo, representando el primer período en el desarrollo de estrías.

Humedad	25 - 45%
Valor calorífico	6000 - 7500 BTU

\* Al secarse se encoje y quiebra en forma irregular.

Sub-bituminoso

Es de color negro, se fragmenta en pedazos al exponerse al aire.

Humedad 12-25%

Valor Calorífico 7000-11000 BTU

Bituminoso

Se fragmenta poco al exponerse al aire. Esta clase incluye los carbones Cannel, algunos de los mejores carbones para vapor y el mejor carbón para gas y la destilación de sub-productos.

Valor calorífico 11,000-15,000 BTU.

La proporcionalidad del combustible, inferior a 2.5.

Semi-antracita

Es más duro que el carbón bituminoso, pero no tan duro como la antracita. Arde con una llama corta, amarilla al principio y después con llama azul cuando termina la iluminación de material volátil. Proporcionalidad del combustible es de 5-10.

Antracita

Es duro, pesado, arde con llama azul es difícil para prender, quema sin humo y no ensucia las manos. La proporcionalidad del combustible es superior a 10.

Poder calorífico standar  
peruana 7,766 Kcal/kg.

Poder calorífico standard  
europeo. 8,200 Kcal/kg.

### Hulla

Tiene elevado porcentaje de cenizas 22-35%, mediante el lavado con aparatos mecánicos, logra enriquecerlo, eliminando buena parte de las materias pizarrosas y de otra clase que forman cenizas. Con este producto concentrado se obtiene coke para la fundición, calderas a vapor y en otros usos.

El carbón de hulla se emplea con preferencia en las calderas, su composición es variable según la procedencia, de un modo general podemos decir su composición:

Carbón	75-90%
Hidrógeno	3- 5%
Oxígeno	3-10%
Valor calorífico	6500-8,500 calorías

### 3.3 Geología de los Carbones Peruanos

Las características geográficas y geológicas del Perú determinan que existe una notable diferencia entre la existencia de recursos carboníferos.

En la génesis de los carbones peruanos, la tectónica ha jugado un papel decisivo, determinando que los mantos se presentan en muchos casos triturados y en bloques separados por fallas o intrusiones, verticales o fuertemente inclinados y principalmente con una gran variedad de características de yacimientos en cada región e incluso con variación de número de potencia de mantos, contenido de cenizas y azufre y otras características, entre depósitos y áreas del mismo yacimiento.

La accidentada topografía originada por el proceso geotectónico de formación de los andes, determina una morfología externa diferente para cada región.

Los carbones peruanos varían desde antracita a través de hulla y lignito hasta turba siendo la primera de acuerdo al actual estado de conocimiento, la más abundante y de muy buena calidad. Las hullas, son relativamente escasas y de mala calidad por el alto contenido de azufre y cenizas.

Dicho contenido es también muy alto en lignitos que son más abundantes que las hullas.

El carbón peruano por su posición geográfica, edad de formación y contexto geotectónico, presentan varias peculiaridades y su estudio es de gran interés científico, mientras que su investigación es facilitada en comparación con otros países, por la abundancia de afloramientos.

El geosinclinal andino se dividió en franjas falladas de la corteza, dando lugar al aislamiento de las cuencas que se han hundido y deformado independientemente, presentando características diferentes en cada región, lo cual permite establecer las siguientes zonas carboníferas en el Perú, en orden de importancia.<sup>(1)</sup>

### 3.3.1 Sierra del Norte

Se extiende desde el sur del departamento de Cajamarca a través de La Libertad y Ancash hasta el límite de los departamentos de Lima y Huánuco.

La mayoría de yacimientos presentan mantos verticales o fuertemente inclinados, cuyo número y

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.4

potencia varía de área a área y de depósito a depósito. La composición del carbón y particularmente su contenido de cenizas y materiales volátiles varía de manto a manto. La cantidad de sustancias volátiles se reduce acercándose a las rocas ígneas.

La potencia de los mantos es limitada, mayormente de 80 a 120 cm. y en pocas áreas alcanzan hasta 2 mts. potencias mayores se deben a causas tectónicas y tienen carácter local.

Los campos carboníferos de esta zona se encuentran limitados por la cubierta gruesa de volcánicos más jóvenes, por los valles profundos y por las zonas con perturbación tectónica forman una topografía accidentada.

Entre los yacimientos más conocidos se encuentran los ubicados en las cuencas de Alto Chicama, Santa, Oyón, siendo el área comprendida entre la quebrada Mascarat y Callacuyán la más importante porque en ella se concentra el mayor potencial.

También se pueden mencionar los yacimientos de Pinipata, Cupisnique, Pallasca, Huallanca, Chiquián, Queropalca y otros.

El carbón de la sierra Norte es principalmente antracita, presentándose también con carácter

local carbones bituminosos. (1).

### 3.3.2 Sierra Central

Se ubica en la parte alta de los departamentos de Pasco y Junin, extendiéndose a las serranías colindantes de los departamentos de Huánuco, Lima y Huancavelica.

Presenta en su topografía punas y valles con un relieve relativamente suave.

El carbón se presenta en mantos con inclinación moderada y perturbación tectónica mínima. El contenido de cenizas y azufre es muy variable, pero en promedio considerablemente mayor que en la sierra norte.

Los depósitos de carbón tienen un marcado carácter lenticular, volviéndose los mantos muy delgados o acunándose a pocos kilómetros y a veces a centenares de metros de sus porciones, por ello el potencial carbonífero de los depósitos individuales es relativamente pequeño.

En esta zona se encuentra Goyllarisquizga, yacimiento casi agotado en la actualidad, Jatunhuasi tiene un potencial carbonífero similar y pareci-

---

(1). Ver Bibliografía. Punto 9.4



da calidad y características de carbón, los otros depósitos en la región tienen una extensión lateral y potencial carbonífero menor, como: Carhuamayo, Pomacocha, Marcapomacocha, Parquin, etc. (1)

### 3.3.3 Zona de Tumbes y la Llanura Amazónica

En Tumbes y al norte de Cajamarca se ha encontrado depósitos de lignitos pertenecientes a la formación Zorritos, de apreciable potencial, - con alto contenido de azufre nativo que presentan una fuerte sobrecarga estéril, el bajo poder calorífico de los lignitos (2,700-4,300 Kcal/kg) y contenido de cenizas entre 20-36%. En la llanura amazónica, los lignitos afloran en la ribera de los ríos y es muy probable que por razones geotectónicas y climáticas se presentan depósitos de lignitos y turbas en toda la selva peruana. (2)

(1) y (2). Ver Bibliografía. Punto 9.4

### 3.3.4 Sierra del Sur

Aunque en numerosos lugares se puede apreciar afloramientos de depósitos de carbón, se conoce numerosos mantos de carbón muchas veces impuro que varía según el yacimiento de antracita a bituminoso y hasta lignitos, con espesores muy limitados, aunque existen referencias de potencias mayores.

Los yacimientos conocidos actualmente son: Polca en Tacna, Ichuña en Moquegua, Sumbay, Murco y Corire en Arequipa. (1)

### 3.3.5 Zona del Sur-Este

Está conformada principalmente por la formación Ambo que se extiende desde Pachitea hasta el Lago Titicaca. Son carbones generalmente impuros, con alto contenido de cenizas y carácter antracitoso muy marcado.

En las vecindades de esta formación también se presentan yacimientos de carbones bituminosos con menores porcentajes de cenizas. En la zona del Cuzco y Puno se encuentran numerosos esquistos carbonosos de interés.

(1). Ver Bibliografía. Punto 9.4

### 3.4 Ubicación de los yacimientos carboníferos del Perú.

En el siguiente cuadro general N°3.1, se presenta la ubicación de los diferentes yacimientos carboníferos y la calidad o clase del combustible sólido. Fueron más intensos en el Oeste que en el Este del Perú, predominando por tal razón las antracitas - en la Cordillera Occidental, bituminosos - en los andes orientales y lignitos en la Selva. (1)

### 3.5 Características químicas y poder calorífico de los carbones peruanos.

La principal característica que se observa en el cuadro N°3.2, es la gran variedad de calidad, composición y presencia de impurezas; y otros elementos como:

- humedad (H)
- materiales volátiles (MV)
- carbón fijo (CF)
- cenizas (CEN)
- Azufre (S)
- poder calorífico (PC)
- proporción del carbón fijo y materiales volátiles o coeficientes de combustibilidad (CF/MV)

---

(1) Ver Bibliografía, Punto 9.3.1.

CUADRO N° 3.1

UBICACION DE LOS DIFERENTES YACIMIENTOS CARBONIFEROS  
DEL PERU

YACIMIENTOS	UBICACION	CLASE DE CARBON
Formación Zorritos	Tumbes	Lignitos
Jaguay Negro	Sullana	Hullas
Motupe	Lambayeque	Antracita
Las Lagunas	Otuzco	Antracita
Huayday	Otuzco	Antracita
Cachicadán	Trujillo	Hullas
Olivo Sayaparco	Huamachuco	Antracitas
Cayacullán	Santiago Ch.	Antracitas
Chasamuday	Santiago Ch.	Antracitas
Chamán	Santiago Ch.	Antracitas
Angasmарca	Santiago Ch.	Antracitas
Cupisnique	Contumazá	Antracitas
San Benito	Contumazá	Antracitas
Yanacancha	Cajamarca	Lignitos
Punre	Celendín	Antracitas
Sendamal	Celendén	Antracitas
San Marcos	Cajamarca	Hullas
Anta	Chimbote	Antracitas
Victoria	Chimbote	Antracitas
Ancos	Pallasca	Antracitas

Continuación Cuadro 3.1

Potrero Conchucos	Pallasca	Antracita
Huaylas	Huaylas	Hullas
Yungar	Yungay	Hullas
Yaraviñca	Pomabamba	Antracitas
Andaymayo	Pomabamba	Antracitas
Chacas, San Luis	Huari	Antracitas
Santa	Santa	Antracitas
Oyón	Cajatambo	Hullas, Antrac. Bituminosas.
Checras	Chancay	Hullas
Parquin	Chancay	Semi-Antracita
Sillapata	Huarochoiri	Asfaltita seca
Icuyo, Laraos	Yauyos	Hullas
Rumichaca	Yauli	Asfaltita seca
Pomacocha	Yauli	Asfaltita bituminosa.
Marcapomacocha	Yauli	Asfaltita bituminosa.
La Lucha	Yauli	Asfaltita Bituminosa.
Chuicho	Yauli	Asfaltita Bituminosa
Sarao	Yauli	Asfaltita Bituminosa.
Jatunhuasi	Huancayo	Hullas
Goyllarisquizga	Cerro de Pasco	Hullas
Santo Domingo	Cerro de Pasco	Asfaltitas Bituminosas
Sumbay, Murco, Corire	Arequipa	Antracitas
Carumas, Pubaya, Ichuña	Moquegua	Hullas y Antracitas
Palca	Tacna	Antrac. Lignitos. Bit.
Livitaca	Chumbivilcas	Antracitas
Ambo	Pachitea-L.Tit.	Antracitas

Fuente: Boletín Cuerpo Ingenieros de Minas del Perú. N°127-1941 y Documentos de BMP.

CUADRO N° 3.2

ANALISIS DE LOS CARBONES PERUANOS

YACIMIENTOS	H %	M.V. %	C.F. %	CEN %	S %	P.C. Calorías	CF/MV
Santo Domingo		36.1	28.50	33.90	1.50	-	0.8
Goyllarisquizga	-	30-42	38-40	22-50	1.47	10,467	0.9-1.2
Cerros de Carumas	-	43.0	54.8	2.2	-	-	1.2
Cachicadán	2.5	37.7	49.6	12.7	1.5	6,361	1.3
Chuicho	0.35	40.45	55.23	2.3	-	7,765	1.36
Carumas, Pubaya	-	43.0	48.87	3.4	-	7,458	1.4
Yanahuachuco	1.15	39.6	56.15	3.1	-	7,772	1.4
Chuicho	0.35	39.6	56.15	3.1	-	7,772	1.4
Carumas	-	40.3	57.7	2.0	-	-	1.4
Sarao	0.1	40.7	58.15	1.05	-	8,024	1.4
Ycuro	0.305	35.0	53.30	8.62	-	7,667	1.5
Sillapata	-	37.0	57.5	4.7	-	7,028	1.5
Paracas	-	39.0	58.8	2.2	-	7,941	1.5
Jatunhuasi	1.9	32.69	54.30	10.9	-	7,282	1.6
Pomacocha	2.01	29.45	57.32	11.2	-	-	1.9
Murco	-	27.0	57.7	15.3	-	7,350	2.1
Jaguay Negro	0.26	30.61	66.96	2.15	-	8,489	2.2
Jaguay Negro	0.20	28.07	66.96	2.1	-	-	2.3

Continuación CUADRO 3.2

Rumichaca	1.15	8.25	87.0	3.6	-	7.751	10.5
Motupe	3.1	7.1	74.8	14.9	-	7,082	10.5
Huaylas	-	8.0	87.5	4.5	-	-	10.9
Queropalca	-	6.5	73.5	20.0	-	-	11.3
Victoria	5.4	6.4	81.5	6.6	-	7,303	12.7
Ancos-Viscaya	-	6.6	85.4	8.0	-	7,303	13.0
Altos de Chiquián	7.5	5.5	80.2	6.8	-	6.270	14.3
Llaclla	7.5	5.5	80.2	6.8	-	6.348	14.5
Pomacocha	1.6	6.1	89.8	2.3	-	-	14.5
Yaucan	1.4	5.6	83.6	1.7	-	-	14.8
Huayday	4.9	5.4	82.8	6.7	-	7,666	15.1
Conaviri	3.0	4.5	72.1	20.4	-	5,926	16.0
Marcapomacocha	-	5.0	89.5	5.5	-	-	17.9
Cahhacuyan, Chasamuday	-	3.16	56.9	4.07	-	7,381	18.0
Taquilpón	6.5	4.5	83.6	5.4	-	-	18.5
Chamano, Angasmarca	4.3	4.6	86.8	4.3	-	7,475	18.7
Olivo Sayaparco	2.8	3.7	80.49	7.7	-	7,381	21.7
Anta	9.1	3.3	77.2	10.3	-	-	23.4

Fuente: Boletín del Cuerpo de Ingenieros de Minas del Perú N°127 y Documentos del BMP.

Continuación CUADRO 3.2

Checras, Quiruragra	5.6	10.9	68.1
Carumas	-	12.6	84.0
Rumichaca	0.87	11.87	81.23
Ancos, Quebrada Yeso	-	11.5	81.0
Andaymayo	-	9.6	69.8
Rumichaca	0.6	11.22	81.19
Pomacocha	0.5	11.1	82.1
Las Lagunas	1.8	11.1	83.9
Matucana	-	11.4	87.8
Paraquín	5.9	9.8	80.5
Checras, Casacancha	2.6	9.6	81.7
Cupisnique	6.8	8.6	73.7
Las Lagunas	-	9.5	82.0
Oyón	2.8	9.0	79.0
Punre	2.7	7.8	76.1
Sendemal	3.5	7.8	76.2
Altos de Tambo Viso	5.5	8.5	84.1
Huallapa	5.9	7.1	71.0
Ancos	7.7	7.7	78.6
Punre	1.34	8.0	82.4
Sumbay	-	8.2	82.4



10.9	-	5,794	6.2
3.4	-	-	6.6
6.03	-	8,280	6.8
7.0	-	7,303	7.0
16.0	-	7,040	7.2
6.99	-	-	7.2
6.3	-	-	7.4
3.2	-	-	7.5
0.8	-	-	7.7
3.8	-	-	8.2
6.1	-	6,787	8.5
10.8	-	7,744	8.5
8.5	-	-	8.6
9.1	-	7,371	8.7
14.5	-	7.746	9.7
16.7	-	7.260	9.7
1.9	-	-	9.9
16.0	-	-	10.0
11.7	-	7,303	10.2
9.6	-	-	10.3
9.4	-	-	10.5

Oyón	3.2	22.7	62.5	11.6	-	-	2.7
Oyón	4.0	25.0	67.0	4.0	-	-	2.7
Oyón	3.6	23.5	66.0	4.9	-	-	2.8
Livitaca	-	24.1	70.6	5.30	-	-	2.9
San Marcos	6.8	19.87	65.9	7.4	-	7,592	3.3
Huaylas,Yungay	-	21.87	72.5	9.57	-	8,343	3.3
Carumas	-	21.6	74.5	3.9	-	-	3.4
Oyón,Saquicocha	1.0	19.4	70.5	9.5	-	7,876	3.6
Huayllay	-	19.8	73.4	6.8	-	-	3.7
Rumichaca	0.86	16.14	75.5	-	-	-	4.6
Checras,Parquín	6.9	16.1	77.7	9.3	-	-	4.8
Sumbay	-	15.0	73.0	12.0	-	-	4.8
Ancos-Pozo Gentil	-	15.6	74.0	10.0	-	7,303	4.9
Pomacocha	1.36	15.47	76.4	6.6	-	8,003	4.9
San Fernando	-	14.5	73.5	11.9	-	-	5.0
Ancos-Peligro N°4	-	14.5	76.6	9.0	-	7,303	5.3
Ancos-Peligro N°3	-	13.8	75.6	10.6	-	7,303	5.4
Ancos, Cocabal	-	14.3	77.4	8.3	-	7,303	5.4
Chacas,San Luis	-	14.0	77.7	9.1	-	7,952	5.5
Potrero Conchucos	-	14.15	79.75	6.1	-	6,950	5.6
Ancos,Huachaspina	-	14.3	79.9	5.8	-	7,303	5.6
Ancos,Viernes Santo	-	13.5	82.0	4.5	-	-	6.0
Carumas	-	13.6	82.6	4.2	-	-	6.2

El análisis de sus componentes de los distintos yacimientos carboníferos, hace ver que en el Perú, existen todas las variedades de carbones, que puede tener diferentes usos tales como: para fragua, para fabricar gas, para generar vapor, para producir coke, para uso doméstico y el carbón necesario para manufacturar briquetas para uso doméstico, industrial, etc.

#### 3.5.1 Antracitas

Las antracitas representan el 85% de los recursos carboníferos conocidos del Perú.

El contenido de humedad relativamente bajo de 3-5% máximo, dependiendo la humedad total de las condiciones de explotación.

El contenido de volátiles se ubica en valores bastante bajos (1-3%) eventualmente alcanza un 8-10%.

Las impurezas inorgánicas se presentan de dos tipos materia mineral inherente y materia extraña. El contenido de impurezas o cenizas varía de región a región.

El azufre se presenta en contenidos que muy esporádicamente pueden representar un problema, sien-

do en este tipo de carbones de origen mayormente inorgánico a través de la presencia de pirritas.

Normalmente, las antracitas peruanas son bastante duras y su abrasividad varía con la cantidad y calidad de sus cenizas, siendo bastante alta cuando se trata de cuarcitas.

Los valores determinados experimentalmente para su poder calorífico ofrecen resultados inusualmente elevados, alcanzando hasta 8,800 Kcal/kg. (1).

### 3.5.2 Carbones Bituminosos

Yacimientos con este tipo de carbones están ubicados en la Sierra Central y se conoce la existencia de interesantes depósitos en la zona oriental de la sierra, como consecuencia de las condiciones tectónicas referidas y la variada y accidentada geología, eventualmente se encuentran carbones bituminosos en otras zonas, pero en depósitos de potencia muy limitada, con bastante contaminación y en mantos lenticulares.

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.3

Como es lógico, presentan humedades mayores que las antracitas y un contenido bastante variado y en ocasiones bastante elevado en volátiles, de acuerdo a la región.

El contenido de cenizas y azufre es muy variable, pero en promedio mayor que la antracita.

Su capacidad de coquización, de los yacimientos conocidos es muy bajo, por ejemplo el carbón de Goyllarisquizga alcanza como máximo un valor de 2.5 mientras que el carbón importado presenta valores entre 6-6.5.

Sin embargo, esta poca capacidad de coquización representa a la inversa mejores condiciones para su empleo como combustible pulverizado, al presentar una mayor velocidad de combustión.<sup>(1)</sup>

### 3.5.3 Lignitos

Las referencias conocidas muestran mala calidad, alto contenido de impurezas y difíciles condiciones de explotación.

Debido a su escasa importancia económica, por su menor poder calorífico y por estar los depósitos ubicados en zonas de escasa demanda, es muy poca la prospección realizada y el conocimiento que se

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.3

tiene de los lignitos peruanos. (1)

### 3.6 Reservas Probables de carbón en el Perú

En el año 1932, siendo el ingeniero Manuel 8. Llosa Jefe de la Sección encargada de continuar los estudios de la Comisión Carbonera y Siderurgia Nacional, estableció las reservas probables de carbón y la superficie mínima que ocupan. Ver en el cuadro N° 3.3.

CUADRO N° 3.3

#### RESERVAS PROBABLES DE CARBON

CLASE DE CARBON	CANTIDAD (Tm)	SUPERFICIE (km <sup>2</sup> )
Lignito	35,248'000,000	17,624
Hulla	36,184'000,000	18,092
Antracitas	128,000'000,000	25,600

Fuente: Boletín del Cuerpo de Ingenieros de Minas del Perú N° 109.

Estas cantidades están respaldadas por la indiscutible autoridad técnica del Ing. José Balta. Estudios posteriores establecieron que el potencial excedía los 990'000,000. TM de carbón, los últimos estudios realizados por INGEMMET establecen alrededor de mil millones (1000'000,000) TM de reservas potenciales y en Enero 1987 el Ministro W. Huaita anuncia que el potencial carbonífero es de 2 mil millones (2000'000,000 TM). Se espera que con más exploración el potencial y las reservas aumentarán considerablemente. (1)

### 3.7 Métodos de explotación empleadas en el Perú.

La variedad de características de los yacimientos en cada región y la variación de factores como: la potencia de mantos, el buzamiento, la dirección y el área; ha obligado experimentar diferentes métodos de explotación, para llegar a establecer los mejores que se adaptan en la explotación de los carbones peruanos. (2)

---

(1). Ver Bibliografía. Punto 9.7

(2) Ver Bibliografía. Punto 9.3.1

### 3.7.1. Cámaras y Pilares (Room and Pillar)

Este método consiste en extraer primero las cámaras, durante el avance y los pilares después de regreso. Su selección y su uso está sujeto a las características del yacimiento carbonífero que condicionan para su empleo.(1) (ver gráfica 3.1).

#### Condiciones

- Se usa para las capas de carbón de 1.5 a 2.5 mts. de potencia.
- Buzamiento de 0 a 30
- Profundidades no mayores de 150 mts.

#### Dimensiones de las cámaras y pilares

##### a) Longitud de las cámaras

- Mínimo 30 mts.
- Normal 75 mts.
- Máximo 90 mts.

##### b) Ancho de las cámaras

- Mínimo 4 mts.
- Normal 7.5 mts.
- Máximo 12 mts.

##### c) Ancho de los pilares

- Mínimo 3 a 4.50 mts.
- Normal 4.5 a 7.5 mts.
- Máximo 10 a 22 mts.

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6



Ventajas

- Se puede reducir los pilares si el terreno lo permite.

- Se puede usar la mecanización.

Es el método más usado en explotación del carbón, por ser más seguro y rentable.

Costo

- El costo de explotación es US\$ 20/TM.

## 3.7.2 Paredes largas (Long Wall)

Este método consiste en el avance continuo en el frente de arranque del yacimiento, construyendo la envoltura de la galería, al agotarse o al término de la extracción, nos permite recuperar toda estructura envolvente de empaquetado, empezando del final de la galería, en otras palabras de regreso.<sup>(1)</sup> (Ver gráfica 3.2).

Ejemplo, se utiliza en el Goyllar (Ver Gráfica 3.3).

Condiciones

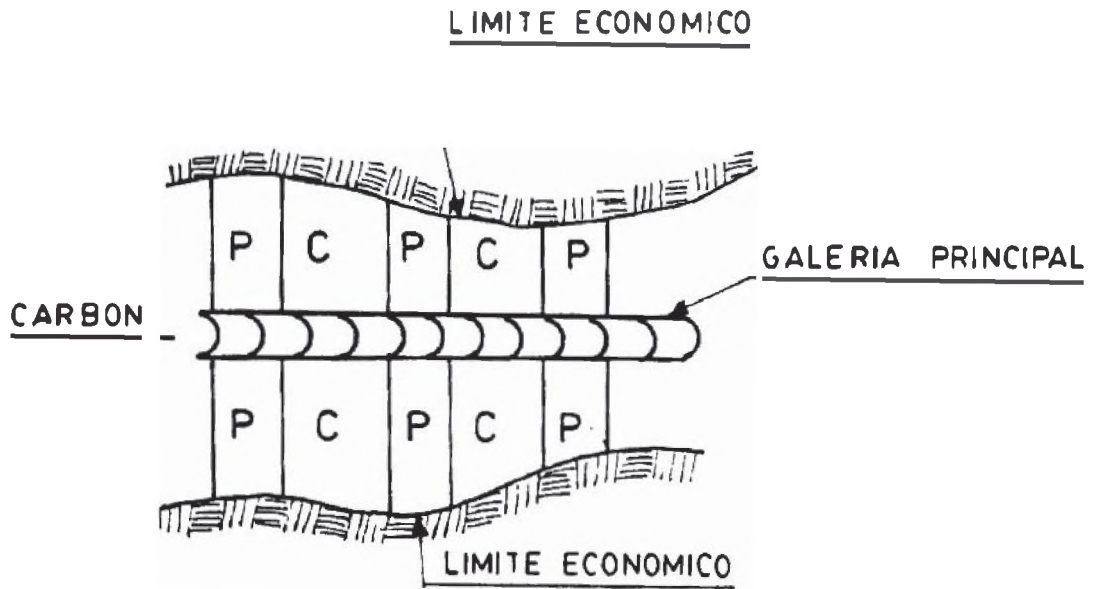
- Se emplea en capas de carbón de 0.6 a 2.5 mts. de potencia.

- Buzamiento de 0° a 30°

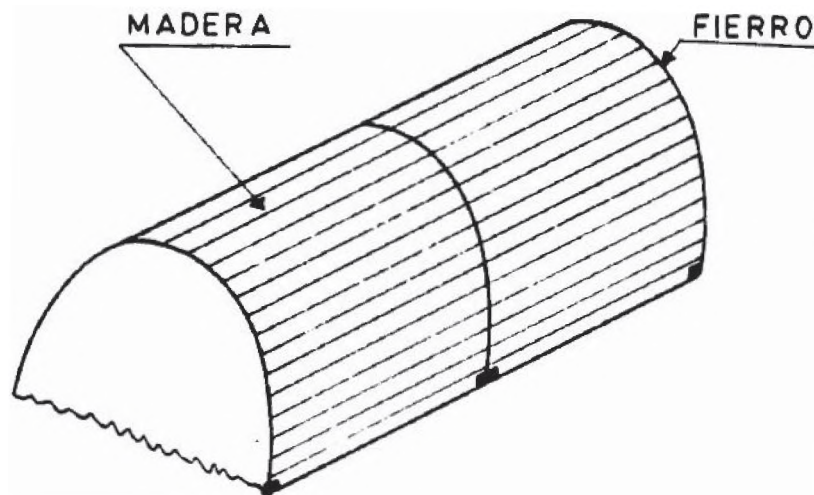
(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6

# CAMARAS Y PILARES

GRAFICA 31



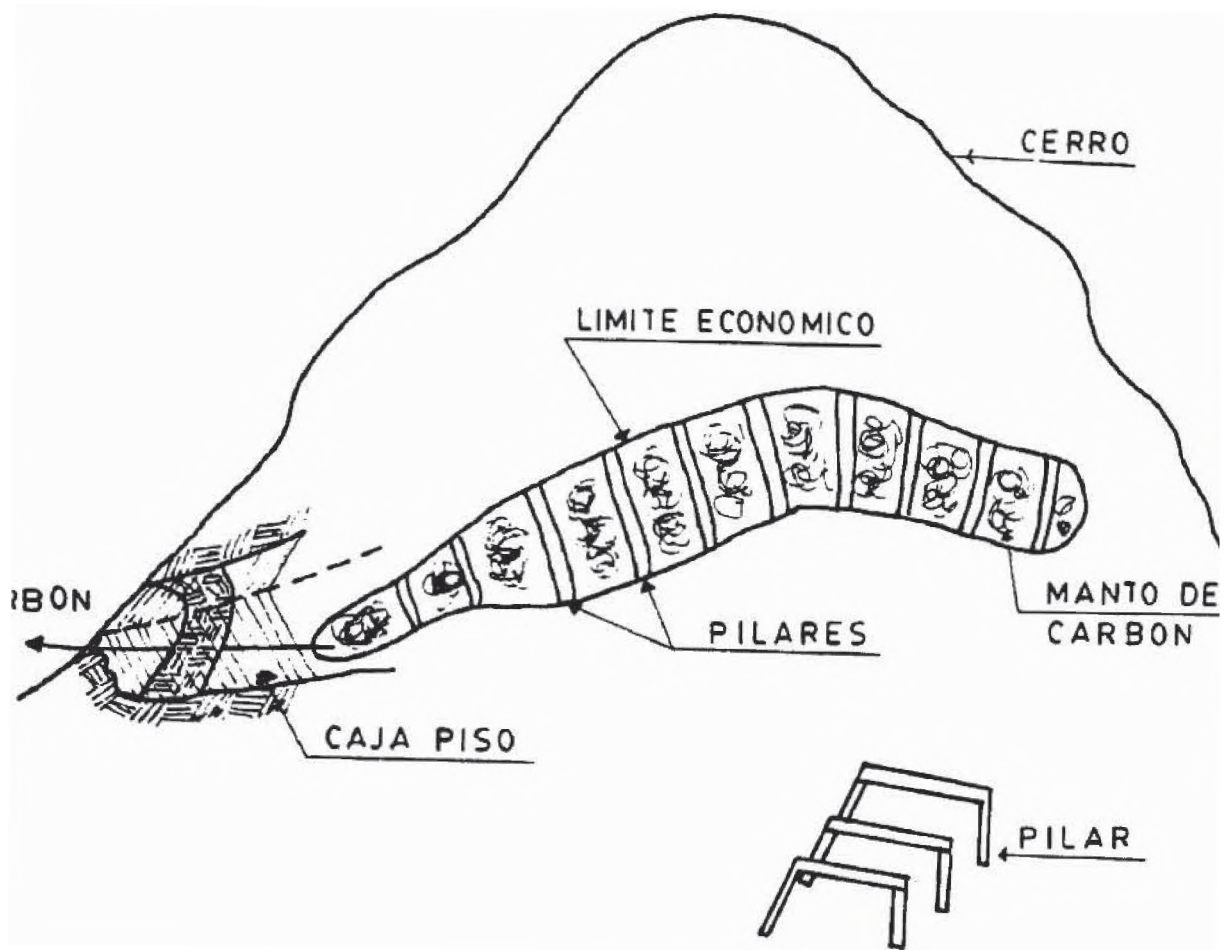
P = PILARES  
C = CAMARAS

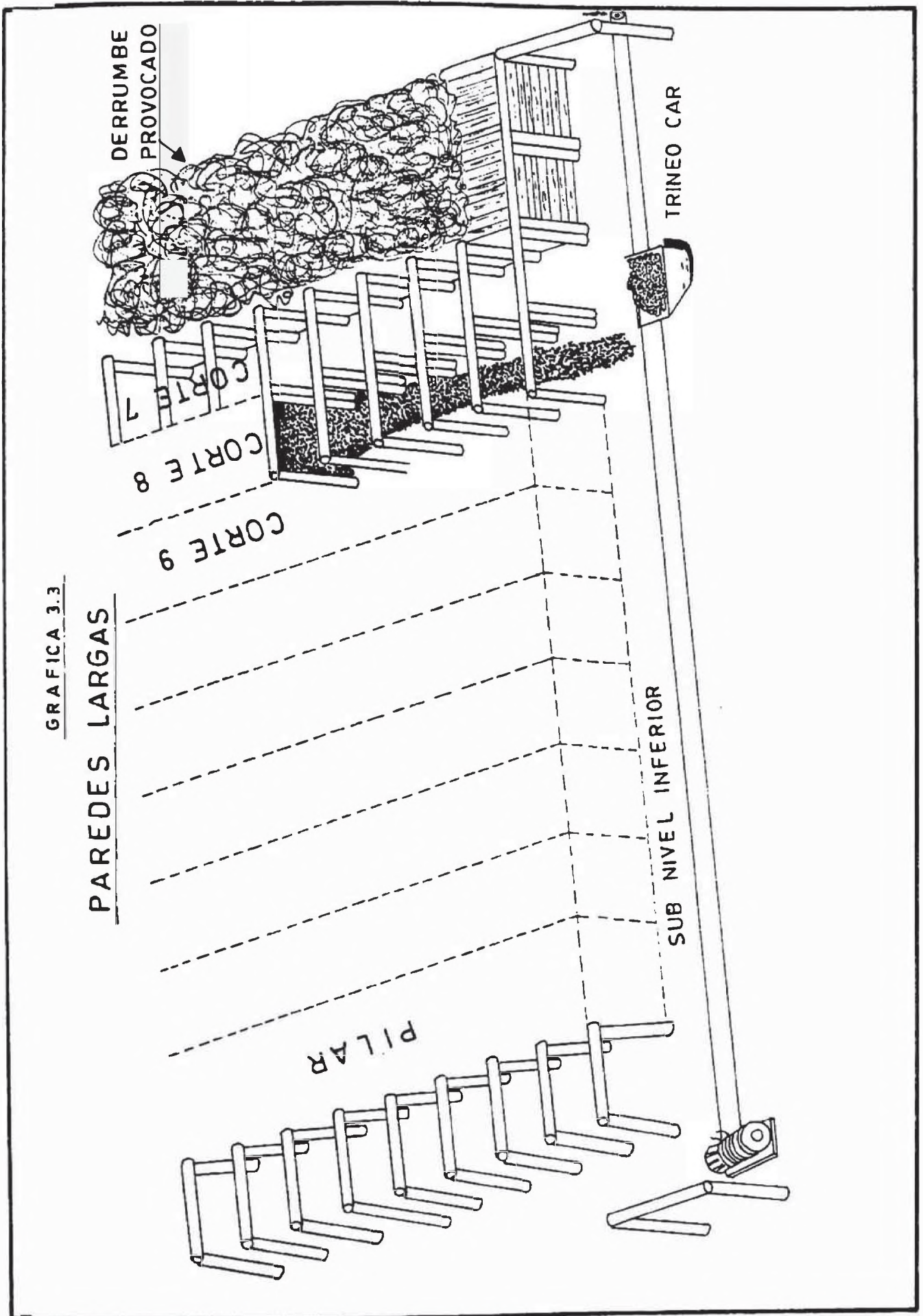


EMPAQUETADO

GRAFICA 3.2

## PAREDES LARGAS





GRAFICA 3.3

### Ventajas

- Es uno de los métodos más usados en la explotación del carbón.
- Permite recuperar las estructuras, reduciendo esta forma el costo de explotación.
- Se puede explotar en cualquier dirección de los mantos de carbón.

### Costo

- El costo de explotación es US \$ 20/TM.

### 3.7.3 Corte y Relleno

Este método consiste en la extracción por tramos, el frente de arranque es de abajo hacia arriba, el carbón obtenido se retira inmediatamente por medio de los pozos, luego se rellena con material estéril en forma de capas. Para el empleo de este método se necesita dos galerías paralelas, una principal para el transporte del carbón y otra secundaria para el ingreso del relleno y una chimenea. Se emplea cuando los mantos son casi verticales, esta característica justifica el método.<sup>(1)</sup> (Ver gráfica 3.4)

---

(1). Ver Bibliografía. Punto 9.6

Condiciones

- Buzamiento mayor de 45°
- Potencia 2 mts.
- Para mantos sin panizo
- Cajas fuertes.

Ventajas

- Es un método barato, si no lleva el relleno
- Resulta fácil su explotación con rastrillo.

Desventajas

- Con relleno es demasiado caro.
- Si hay panizo es también caro.
- No se usa en inclinaciones menores de 40°

Costos

- Sin relleno USS 30/TM
- Con relleno USS 40/TM

#### 3.7.4 Almacenamiento provisional (Shrinkage Stopping).

Este método consiste en la extracción del carbón por tramos, para lo cual se construye dos galerías una principal y otra secundaria, cuenta con una serie de tolvas que nos permite almacenar y retirar el carbón, el frente de arranque es de abajo hacia arriba. Al almacenarse el carbón forma caja piso que permite ascender en el avance de la extracción.(1) (Ver gráfica 3.5).

(1). Ver Bibliografía. Punto 9.6



### Condiciones

- Buzamiento mayor de 50° (50° a 90°)
- Potencia mayor de 2 metros
- Cajas fuertes
- Carbón relativamente suave  
Sin panizo
- Que no se convierta en polvo fino.
- Con muy poco material estéril en la veta.

### Desventajas

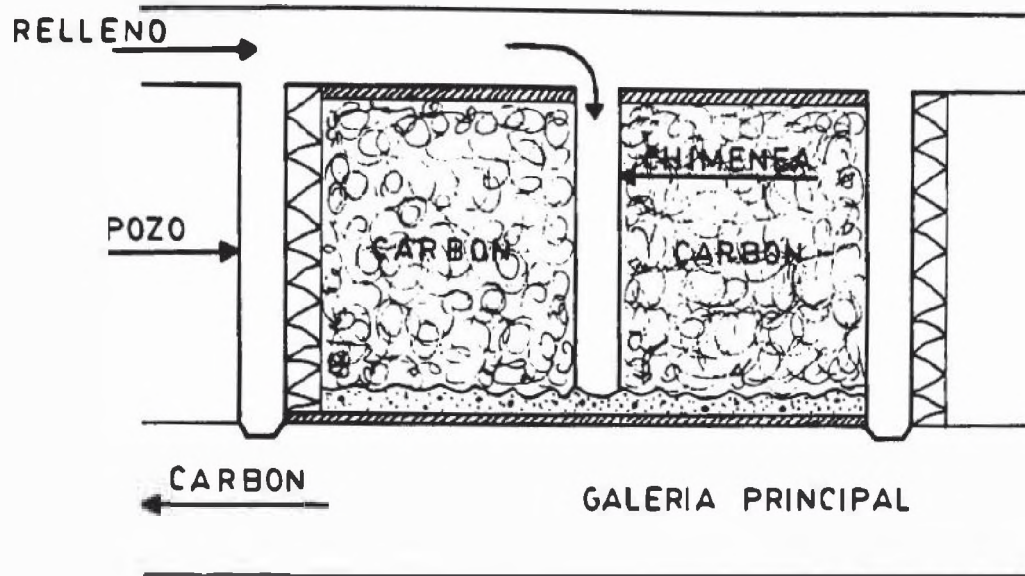
- Si el carbón se hace polvo por el uso de falso piso, entonces el método se usa.
- El carbón queda depositado mucho tiempo, es peligroso puede causar incendio, explosión.
- Si hay panizo el método no se usa.
- Al extraerlo el carbón quedará pegado en caja piso en gran cantidad.
- Al disparar no se deja el estéril que hubiera en veta.

### Costo

- Costo de explotación US\$ 30/TM

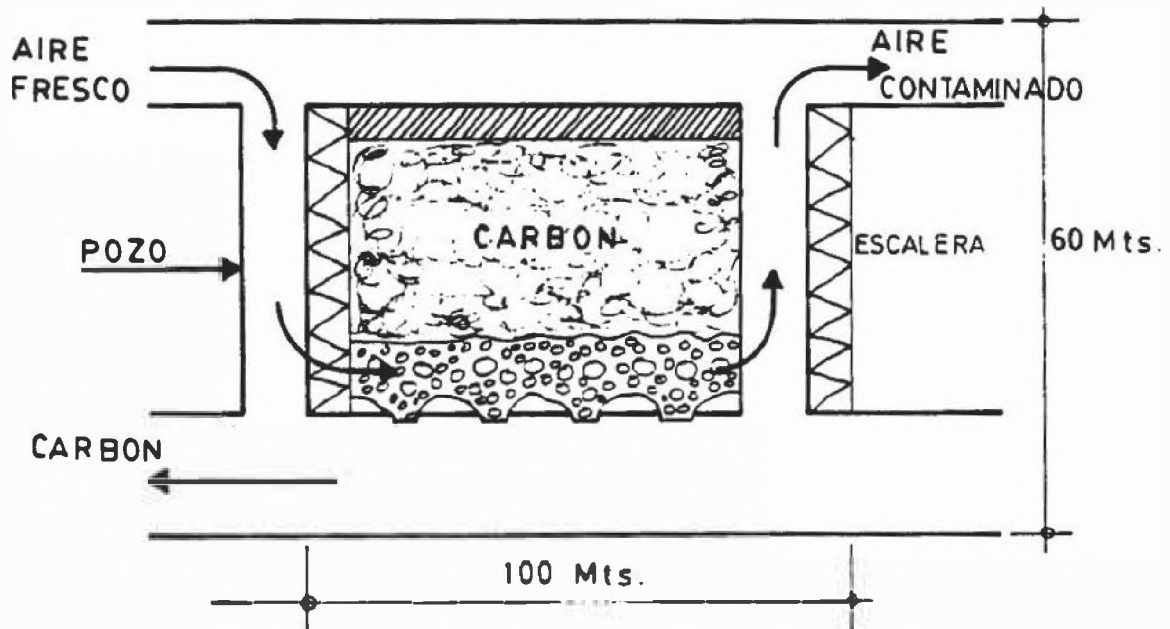
GRAFICA 3.4

CORTE Y RELLENO



GRAFICA 3.5

ALMACENAMIENTO PROVISIONAL





## 4. GENERACION DE INCENDIO EXPLOSION

En este capítulo se presenta el estudio, desde su origen hasta los efectos perjudiciales y destructivos de los incendios y explosiones, en las minas de carbón, subterráneas.

### 4.1 Definiciones Básicas

#### Reacciones Químicas

Es el proceso por el cual dos sustancias reaccionantes que tienen una afinidad química se transforman en su naturaleza íntima para dar como resultado, productos resultantes, que tienen propiedades físico y químicas diferentes que los reaccionantes. (1)

---

(1). Ver Bibliografía. Punto 9.6

### Material Combustible.

Son materiales inestables, si se exponen al aire, al agua, al calor, al impacto o la presión, se altera su composición química, se descomponen o se hacen autorreactivas, se inflaman, etc. La mayor parte de los gases están en esta categoría. (1)

### Agente Oxidante

El agente oxidante más importante es el oxígeno que existe en el aire. El aire es la mezcla de gases que rodea la tierra. (2)

#### COMPOSICION NORMAL DEL AIRE CERCA AL SUELO (1 lt)

Nitrógeno	N <sub>2</sub>	77.08%
Oxígeno	O <sub>2</sub>	20.75%
Agua	H <sub>2</sub> O	1.2%
Argón	A	0.93%
Bióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	0.03%
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	0.01%

(1) y (2) Ver Bibliografía. Punto 9.6

### Comburente

Que provoca una combustión, que activa: el oxígeno es comburente, pero no combustible.

### Temperatura de Ignición.

Es la temperatura mínima a la que debe ser calentada una sustancia en el aire para que en ella se pueda iniciar y mantener una combustión independiente de la fuente de calor (temperatura de autoignición). (1)

### Reacción en Cadena

De una serie de reacciones químicas, transcurren de tal manera que al principio en el sistema se forman partículas activas, con mayor frecuencia átomos y radicales libres que tienen valencias libres y por consiguiente, alta actividad. Estas partículas intervienen en la reacción dando origen nuevamente a átomos y radicales. Tal sucesión de reacciones que se repiten periódicamente se llama reacción en cadena. (2)

---

(1) y (2). Ver Bibliografía. Punto 9.6

### Combustión

Es la oxidación rápida de los materiales combustibles con fuerte desprendimiento de energía en forma de luz y calor. (1)

### Intensidad de Fuego

Es la medida del grado de energía producida, varía el nivel de intensidad a lo largo de su desarrollo del incendio. (2)

### Explosivo.

Sustancia o mezcla de sustancias que ante un estímulo suficiente sufre una rápida reacción autopropagante, caracterizada por la formación de productos más estables. (3)

### Agente Explosivo

Es cualquier materia o mezcla de combustible y un oxidante, útil para producir explosiones. (4)

### Explosión

Es el efecto de una súbita y violenta producción de gran cantidad de gases en expansión a temperatura alta, pudiendo ir acompañado de ondas expansivas y con resultados destructores. (5).

---

(1),(2),(3),(4) y (5). Ver Bibliografía. Punto 9.6.

### Onda de Choque

Es la energía transportada por la onda, por unidad de superficie y unidad de tiempo, en dirección de la propagación. La potencia por unidad de superficie es igual al exceso de presión -- (fuerza por unidad de área) multiplicada por la velocidad.

### Sensibilidad a la Ignición.

La sensibilidad a la ignición es función de la temperatura de ignición y de la energía mínima - necesaria para la ignición. (1)

### Gravedad de la explosión.

La gravedad de la explosión viene determinada - por la presión máxima de explosión y por la máx-ima velocidad del incremento de la presión. (2)

### Densidad de Vapor.

Es el peso de un volumen de aire puro comparado con el de aire seco de igual volumen, a las mis-mas condiciones de temperatura y presión.

Una cifra inferior a uno indica que el gas es más ligero que el aire y una cifra superior a uno indica que es más pesado que el aire. (3)

---

(1), (2) y (3). Ver Bibliografía. Punto 9.6

### Calor Específico

Llamada también capacidad térmica o calorífica de una sustancia, es el número de unidades de calor necesarias para elevar la temperatura de una masa de dicho material en un grado. (1)

### Calor de combustión.

El calor de combustión es la cantidad de calor emitido durante la completa oxidación de la misma en dióxido de carbono y agua. (2)

### Calor Latente

Es la cantidad de calor absorbido por las sustancias cuando pasan del estado sólido a líquido y del estado líquido a gaseoso. (3)

### Energía Calorífica química.

Las reacciones de oxidación generalmente producen calor. Estos son los tipos de fuente de calor que constituyen el principal interés del ingeniero dedicado a la protección contra incendios. (4)

---

(1), (2), (3) y (4). Ver Bibliografía. Punto 9.6

Energía de activación.

Es el exceso de energía, que deben poseer las moléculas, en comparación con su energía promedio a una temperatura dada, para que puedan participar en una reacción química<sup>(1)</sup>

Cinética Química.

Estudia la velocidad de las reacciones químicas y sus mecanismos de reacción.

#### 4.2 Teoría del Fuego

Incendio y fuego son fenómenos diferentes, el fuego degenera normalmente en incendio y los enormes peligros de la intoxicación y de la explosión son comunes a ambos.<sup>(2)</sup>

Fuego en la Mina.

Es la combustión espontánea y lenta del carbón o de otros minerales azufre, piritas, sulfuros, etc. <sup>(3)</sup>

Incendio en la Mina.

Es la combustión viva y descontrolada de los materiales introducidos en ella: madera, aceite,

---

(1), (2) y (3). Ver Bibliografía. Punto 9.6.

cintas transportadoras, gases, partículas de carbón, etc.

Para tener una idea clara, precisamos que en la mina el Ruhr, en 7 años (de 1947-1953) de 236 inflamaciones, 157 fueron fuegos y 79 incendios propiamente dichos o sea dos fuegos por cada incendio.

Es esencial entender el fuego desde sus comienzos hasta la combustión en forma de llamas y aún más allá, si es que el hombre desea llegar a dominar la naturaleza destructora del mismo. Es fundamental para esta comprensión la investigación científica, tanto la básica como la aplicada, de modo que todos aquellos organismos involucrados en la lucha contra el fuego puedan ocuparse mejor de esta tarea. (1)

#### 4.2.1 El fuego y la investigación científica.

Hace varias décadas se realizan investigaciones científicas en minas, como la mina experimental de Pittsburgh en EE.UU. La Tremonia, fundada en 1927 y con sede en Dortmund. Los tres socios de esta minería experimental de Alemania Federal, el Land de Renania Norte-Westfalia y la Asociación Profesional Minera, destinaron de tres

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6



cuatro millones de marcos, en 1969 trabajaban 135 científicos, ingenieros, mineros, artesanos y auxiliares en seguridad. En la mina se investiga la forma como se acumulan el gas grisú, utilizando para ello trechos de galerías subterráneas, se examina cómo se realiza la mezcla de éste y el aire fresco en la galería, y en que velocidades y cantidades de aire pueden formarse acumulaciones peligrosas de grisú y del polvillo de carbón.

La evolución de la investigación básica ha llevado a realizar estudios sobre columnas térmicas las llamas y su mecanismo de propagación, la composición de los humos y otros productos derivados de la combustión, el mecanismo de la transferencia de calor, el efecto de la ventilación sobre la intensidad del fuego y la predicción del fenómeno de la inflamación súbita.

La investigación, la experiencia de los incendios y los conocimientos fundamentales de ingeniería son las herramientas aptas para evaluar los problemas derivados del fuego y encontrar soluciones. (1)

(1). Ver Bibliografía. Punto 9.6

#### 4.2.2 Objetivo de la investigación de los incendios.

Conseguir la misma seguridad de las personas y los mínimos daños materiales posibles, con el mínimo esfuerzo, el mínimo gasto y la mínima interrupción de la actividad minera exige conocer la experiencia pasada. Este conocimiento se adquiere principalmente investigando los incendios y analizando lo más exactamente posible la información sobre las pérdidas.

El estudio de los incendios puede contribuir a mejorar las actividades preventivas y como consecuencia, al dominio de las causas que producen y de todas las fases de la secuencia de la ignición. (1)

La investigación de los incendios tiene tres fines:

1) Determinar lo sucedido de modo que se pueda tomar medidas preventivas en el futuro.

Los incendios pueden atribuirse a algún tipo de falla, que pueden consistir en haberse obligado al cumplimiento estricto de los Códigos y Normas de prevención o no haberse cumplido los programas de instrucción o puede ser por

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

intencionalidad dolosa.

- 2) Comprobar la posibilidad de que hubo intencionalidad dolosa.
- 3) Obtener la información más exacta posible para la redacción del atestado.

#### 4.2.3 Aspectos de que se ocupa la investigación de incendios.

Una auténtica investigación del incendio debe ocuparse de una gama más amplia de temas como son:

##### La secuencia de Incendios

Es importante el punto donde comenzó el fuego y la secuencia de ignición que hizo que éste se iniciara.

Esta secuencia consiste en la identificación de tres factores:

Debe haber una fuente de calor, un material combustible en la que el fuego pueda prender y un acontecimiento, acción humana o acto natural que actúe para reunir la fuente de calor y el combustible e iniciar el fuego.

### Desarrollo del Fuego

Iniciado el incendio comienza a crecer y desarrollarse, lo que puede deberse a una serie de factores, todos importantes para comprender las causas que determinan su magnitud.

Los elementos que constituyen el contenido en composición y concentración de una mina, desempeñan un papel importante, ya que contribuyen - frecuentemente al incendio por su naturaleza combustible.

Estos materiales pueden hacer que el fuego se propague a producir un fuego intenso, concentrado en zonas limitadas. Además pueden producir humos, gases tóxicos que dificultan las operaciones de extinción.<sup>(1)</sup>

### Las pérdidas Humanas

El fuego ha cobrado un terrible tributo a la sociedad, un tributo medido en dolor, sufrimientos y muerte de los trabajadores mineros.

Mientras que las pérdidas materiales, aún siendo enormes, son hasta cierto punto medibles, las humanas no se pueden calcular fácilmente.

---

(1). Ver Bibliografía. Punto 9.6

Esa pérdida no puede medirse en términos monetarios, a pesar de ser el daño más terrible que pueda pagarse en términos de costo social. Las víctimas se clasifican en directas e indirectas:

Directas, son aquellas cuyas lesiones o muerte se debe al fuego; indirectas, las lesiones o muerte se debe en parte al fuego, pero intervienen otras causas como factor primario.

La investigación en este aspecto es con la finalidad de determinar con exactitud las causas de muerte en los incendios, en las minas de carbón. Los decesos más comunes son la inhalación de gases de combustión y aire caliente y las otras causas combinadas que generan.

Estudios de los principales desastres causados por el fuego, revelan las causas por inhalación de aire caliente, gases tóxicos, falta de oxígeno. Los gases más peligrosos son el monóxido de carbono, el bióxido de carbono también es muy dañino en altas concentraciones. Los efectos de toxicidad de los gases aumentan la velocidad de respiración, el exceso de inhalación de bióxido de carbono altera el sistema nervioso y acelera el ritmo respiratorio y shock. (1)

(1). Ver Bibliografía. Punto 9.6.

#### 4.2.4 Materiales combustibles y sus propiedades en las minas de carbón.

En el aire atmosférico o atmósfera de la mina, entre los componentes que representan mayor riesgo potencial de incendio y explosiones, son el gas grisú y el polvo de carbón.

##### 4.2.4.1 Gas Grisú

Es un gas combustible que se desprende fundamentalmente de yacimientos de origen orgánico, como el carbón.

La Formación del Grisú.

El grisú se forma por la putrefacción o descomposición de materias vegetales, siendo por lo tanto una consecuencia de la intracarbonización, en relación con el proceso geoquímico, pudiendo ser favorecida por procesos orgánicos y otros fenómenos tectónicos. (1)

Para explicar su formación debemos atribuir el mismo origen del gas de los pantanos o sea por la formación de la celulosa, que es mayor porcentaje en los vegetales. (Ver C-4.1)

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

CUADRO N° 4.1

## COMPOSICION DE LOS VEGETALES

COMPONENTES	%
Celulosa	90.8
Lignina	7.8
Grasas, resinas, ceras	0.4
Hemicelulosa	0.7
Cenizas	0.3

Fuente: VIAN, Curso de Introducción a la Ingeniería. Química Industrial. 1976.

Ecuación de la Descomposición de vegetales:

Descomposición de vegetales Diversos Procesos  $(C_6H_{10}O_5)_n$   
geoquímicos y Tect. Celulosa

La fracción celulósica de la madera, está constituida por una mezcla de polisacáridos bastante análogos, pero diferentes.

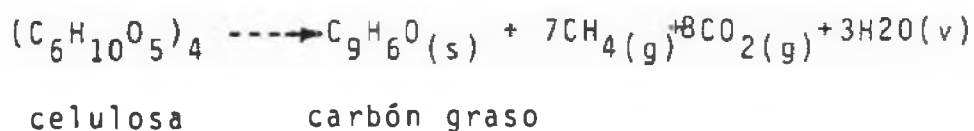
La  $\alpha$ -celulosa, celulosa propiamente dicho es un polisacárido de fórmula  $(C_6H_{10}O_5)_n$ , en el que 'n' varía entre 1000 y 5000, su grado de polimerización es muy alto.

Conforme a la reacción química de Couriot y Deherain, el metano se forma a partir de la celulosa, como sigue:



Esta ecuación equivale a la gasificación total de la celulosa, con formación de volúmenes iguales de metano y bióxido de carbono.

Por ejemplo al reemplazar cuatro moléculas de celulosa se obtiene la siguiente ecuación química:



La fórmula  $C_9H_6O$  corresponde a un carbón graso de la siguiente composición centesimal:

Carbono	83%
Hidrógeno	4.6%
Oxígeno	12.4%

Esta reacción, continuando en la masa del carbón que queda aprisionado entre los terrenos que forman la caja, da por resultado el almacenamiento



bajo presión del gas que se desprende si los terrenos que la encierran no son bastante permeables para darles salida. En las experiencias de Lindsay-Wood en Inglaterra encontró presiones de hasta 30 atmósferas, la presión máxima hallada por M. Simón en Lievin ha sido de 7 atmósferas. (1)

#### Composición química

Del análisis del gas grisú, se ha determinado - que principalmente está formado por metano, como se puede ver en los ejemplos siguientes:

Metano (CH <sub>4</sub> )	77-96%
Bióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	0.5-1%
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	18

Suele ocurrir que el bióxido de carbono acompaña al grisú en cantidad más considerable, como en las minas de Rochebelle, Commentry, Zenkeroda, etc.

En Bélgica, se encontró el gas grisú de la siguiente composición :

Metano (CH <sub>4</sub> )	85-99%
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	6%

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6

Etano	(C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	2.8%
Bióxido de carbono	(CO <sub>2</sub> )	3.4%
Hidrógeno	(H <sub>2</sub> )	0.2%

En las minas de potasas y pizarras se encuentra a menudo mucho etano, CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>.<sup>(1)</sup>

### Propiedades físicas y químicas del Metano

Siendo el metano el principal constituyente del grisú, al cual debe sus propiedades más características, por tal motivo, al grisú se conoce simplemente como gas metano, sus propiedades son:

Fórmula química	CH <sub>4</sub>
Peso molecular	16
Gravedad específica	0.55
Punto de ebullición	-159 - -164°C
Densidad a presión barométrica normal a 21°C	0.42-0.48 Kg/lt.
Límites de inflamabilidad	5-15%(a T normal) 6-13%(Cerca a 160°C)
Calor de combustión	1,222 Kcal/kg.
Velocidad de combustión	0.5-15 cm/minuto

Es un gas ligero, incoloro. inodoro y no es tóxico, se acumula en los puntos altos, se mezcla - bien con el aire, este proceso es irreversible.

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6

Según la experiencia de M. Llord y Le Chatelier se inflama a la temperatura de 650°C, aunque ya existe una combustión lenta sin llama, en presencia de cuerpos porosos puede empezar a los 200°C.

Propiedad especial del metano, no tienen otros gases inflamables, una vez llegado a la temperatura de inflamación de 650°C, tarda unos 10 segundos en inflamarse (grisú vivo) en cambio otros gases se inflaman instantáneamente. A 1000°C sólo tarda más de un segundo (Grisú blanco).

Según las experiencias de Schondorf, ha encontrado Hidrógeno o Hidruro de etileno, lo cual pudiera explicar esta variación en las propiedades del grisú.

Estas mezclas tienen dos límites de explosividad 5 a 15%, es decir, dentro de este margen se producen explosiones y fuera de estos límites se produce una combustión tranquila. (1)

#### Desprendimientos del grisú en las Minas

El desprendimiento ha llegado, en ciertos momentos a 130 m<sup>3</sup>/Tm de carbón. A pesar de las medi -

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6

das muy especiales aplicadas para aumentar la ventilación (que ha llegado hasta la enorme cifra de  $2000 \text{ m}^3/\text{minuto de aire}$ ).

1. Factores que actúan sobre el desprendimiento de un yacimiento.

a) Nivel estratigráfico

Los carbones antiguos contienen más gas. Esto se explica por los procesos de carbonización que han transformado la madera fósil en ácidos húmicos y en gas que están más avanzadas en los carbones antiguos. Existe, sin embargo, un límite a esta regla - del aumento de contenido en grisú con la antigüedad, en las antracitas, el desprendimiento medio de los yacimientos es de orden de  $40 \text{ m}^3/\text{Tm}$  sin duda a causa de su elevada densidad y de sus reducidos vacíos, parecen haber perdido una gran parte del grisú. (1)

b) Profundidad

Las minas menos profundas tienen menos gas que las otras, lo que se explica por una pérdida de gas, a lo largo de los años, a través de los terrenos. Si éstos son más potentes, el gas se conserva mejor. (2)

---

(1) y (2). Ver Bibliografía. Punto 9.6.

Los lignitos, que son carbones jóvenes, no suelen contener mucho gas.

c) Influencias orogénicas.

En las fallas, especialmente las inversas, los trastornos en las capas, los anticlinales y en general en todos los puntos en que las capas han sido laminadas, se producen desprendimientos instantáneos de grisú.

Sin duda, el plegamiento que origina la falla es la causa de este envejecimiento artificial.

(1)

d) Abundancia de capas o zonas inexplotables.

El gas de estas capas sale durante los trabajos de las capas en explotación y aumenta con ello el caudal total de grisú.<sup>(2)</sup>

e) Edad de las Minas.

Las minas jóvenes dan mucho más grisú que las antiguas. En aquellas, el paso a un nuevo piso más profundo ocasiona un aumento notable del caudal de grisú.<sup>(3)</sup>

---

(1),(2)y(3). Ver Bibliografía. Punto 9.6

## 2. Importancia de los desprendimientos .

Las emisiones diarias de grisú de las explotaciones de carbón vienen dadas en el siguiente cuadro :

CUADRO No. 4.2  
EMISIONES DIARIAS DE GRISU

PAIS	Emisiones diaria en millones de m <sup>3</sup>	Producción por jornada laboral en toneladas.	Desprendimiento medio en M3/TM
Bélgica	2	100,000	25
Francia	3	200,000	18
Alemania Occidental.	6	450,000	16
Sarre	1.4	55,000	30
Inglaterra	10	700,000	16

Fuente : Dirección General de Carbón de Francia  
Explotación de Minas, por P. Buseilhac.

El desprendimiento es, por otra parte, muy variable según las minas. Ciertas minas del Sarre y de Bélgica desprenden más de 100 m<sup>3</sup>/TM de carbón. En Francia hay muchas cantidades de cero a 20 m<sup>3</sup>. Se encuentran de 20-50 m<sup>3</sup>, en las minas de carbón graso del Norte y del Paso de Calais. (1).

### 3. Tipos de desprendimientos

Existen tres tipos de desprendimiento que son:

#### a) El desprendimiento normal.

Se produce en forma continua y uniformemente repartida.

#### b) El desprendimiento por manantiales.

Estos son escapes de grisú que proceden de fallas o roturas Naturales de rocas. Otros dan caudales de grisú durante largo tiempo. En el Sarre se ha recogido, en algunos manantiales, hasta 10 m<sup>3</sup>/minuto durante más de 10 años, o sea en total más de 50 millones de metros cúbicos.

#### c) El desprendimiento instantáneo.

Es el desprendimiento abundante de gas, con proyección de grandes masas de carbón o de roca.  
ca.

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

Entre este peligroso fenómeno, se presentan los siguientes casos:

- Desprendimiento instantáneo de metano  $\text{CH}_4$
- Desprendimiento instantáneo de mixtos ( $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  mezclados).
- Desprendimiento instantáneo de bióxido de carbono  $\text{CO}_2$ .

Los de  $\text{CO}_2$  son más violentos. Algunos han dado proyecciones de más de 5000 TM de carbón.

En los desprendimientos instantáneos de  $\text{CH}_4$  se han conocido proyecciones hasta de 1300 TM con emisiones de 400,000  $\text{m}^3$  de gas. (1)

#### 4. Repartición del desprendimiento en un Yacimiento.

En general, se observan los fenómenos siguientes:

- a) El grisú aparece poco en los trazados, salvo en los yacimientos con manantiales.
- b) En tajos en dirección, sólo sale parcialmente donde se arranca el carbón y más en la galería de cabeza del taller donde el metano se concentra cada vez más en el aire hasta unos 80-100 mts. hacia atrás del frente.
- c) La primera capa explotada de un paquete dá mucho más grisú que las siguientes.
- d) Durante la jornada, el desprendimiento no es regular. Aumenta en los relevos de arranque y en los talleres en que trabajan rozadoras,

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.



sobre todo durante el rozado.

- e) Si la depresión de ventilación desciende, el desprendimiento disminuye.
- f) Si la presión barométrica desciende, el desprendimiento aumenta.
- g) La relación:

grisú que viene de las capas de carbón  
grisú que viene de las rocas estériles.

La relación varía del 35-80%. (1)

- h) Una mina desprende a lo largo de su existencia todo el grisú, pero la marcha de este -- desprendimiento depende de la forma en que se lleve la explotación: orden de explotación de las capas, velocidad de arranque, forma de tratamiento de la parte posterior del taller. (2).

## 5. Presión

En Bélgica, en sondeos perforados a partir de galerías de interior, se han medido hasta 40 atmósferas. Presiones mayores a 80 atm. se han encontrado en sondeos profundos hechos desde la superficie.

---

(1) y (2). Ver Bibliografía. Punto 9.6.

En general, cabe pensar que la presión del grisú, incluso en los vacíos submicroscópicos del carbón podría alcanzar un valor correspondiente al peso de los terrenos hasta la superficie, o sea en kilogramos; indicado con la expresión.

$$\frac{d \times H}{10}$$

donde:

d densidad media de los terrenos

H profundidad en metros.

Si los valores medios son inferiores a  $\frac{d \times H}{10}$ ,

puede ser debido a dos causas

- 1) La imposibilidad de hacer estanca la entrada - del sondeo, pues los terrenos siempre están fisurados o porosos.
- 2) La resistencia de los canales submicroscópicos de la hulla, que frena la salida del grisú de las capas que el sondeo corta.

#### 6. Grisú residual después del arranque.

##### a) Desgasificado de un bloque.

Bajo una campana unida a una bomba de vacío, - un bloque de carbón cede de 1-5 m<sup>3</sup>/TM de gas.

##### b) Fragmentación.

Un bloque fragmentado cede a un gas en cantidad variable, algunas veces equivale a la que ha cedido antes de la fragmentación. Parece - que el desprendimiento no se produce, pues más que

a cierta profundidad a partir de caras libres.

c) Efecto de la temperatura.

Si la temperatura se eleva, el desprendimiento aumenta.

d) Absorción de gas por la hulla.

La absorción aumenta con la temperatura. Crece también con la presión, pero sin ser proporcional.

1 cm<sup>3</sup> de hulla finamente molida absorbe de 5-10 cm<sup>3</sup> de gas a temperatura y presión normales. (1)

7. Unión grisú-hulla.

La hulla es una superposición de innumerables hojas con una infinidad de vacíos submicroscópicos. La presión explica difícilmente las cantidades de gas encontradas, que sólo se aclaran, así:

a) Hay almacenamiento del gas bajo presión.

Los vacíos suelen representar del 15-30% del volumen de la hulla, encontrándose las cifras más elevadas en los carbones más jóvenes y la cifra del 15% en las antracitas normales. Cae por debajo de 15% para antracitas especiales muy pesadas y cerca de cero en los grafitos.

---

(1). Ver Bibliografía. Punto 9.6.

b) Hay absorción del gas por las paredes de los vacíos. Como la absorción no aumenta con la presión, esto explica el amortiguamiento. (1)  
Ver Gráfica 4.1 pág. 119.

#### 8. Condiciones que permiten el desprendimiento.

En terreno virgen, un sonedo, un pozo o una galería dan muy poco grisú, al menos en ausencia de manantiales. El grisú sólo sale en abundancia si hay una descompresión de los terrenos provocada por la explotación que fisure el carbón y crea roturas que conduzcan hacia vacíos de la explotación, el grisú de las capas del techo y del muro, así como de la capa explotada. (2)

#### Desprendimiento Instantáneo

Se llama desprendimiento instantáneo (DI) un brutal desprendimiento de gas acompañado de abundantes proyecciones de carbón y a menudo de roca.

##### 1. Lugares en que se producen.

a) En el encuentro de las capas vírgenes, principalmente en galerías en roca.

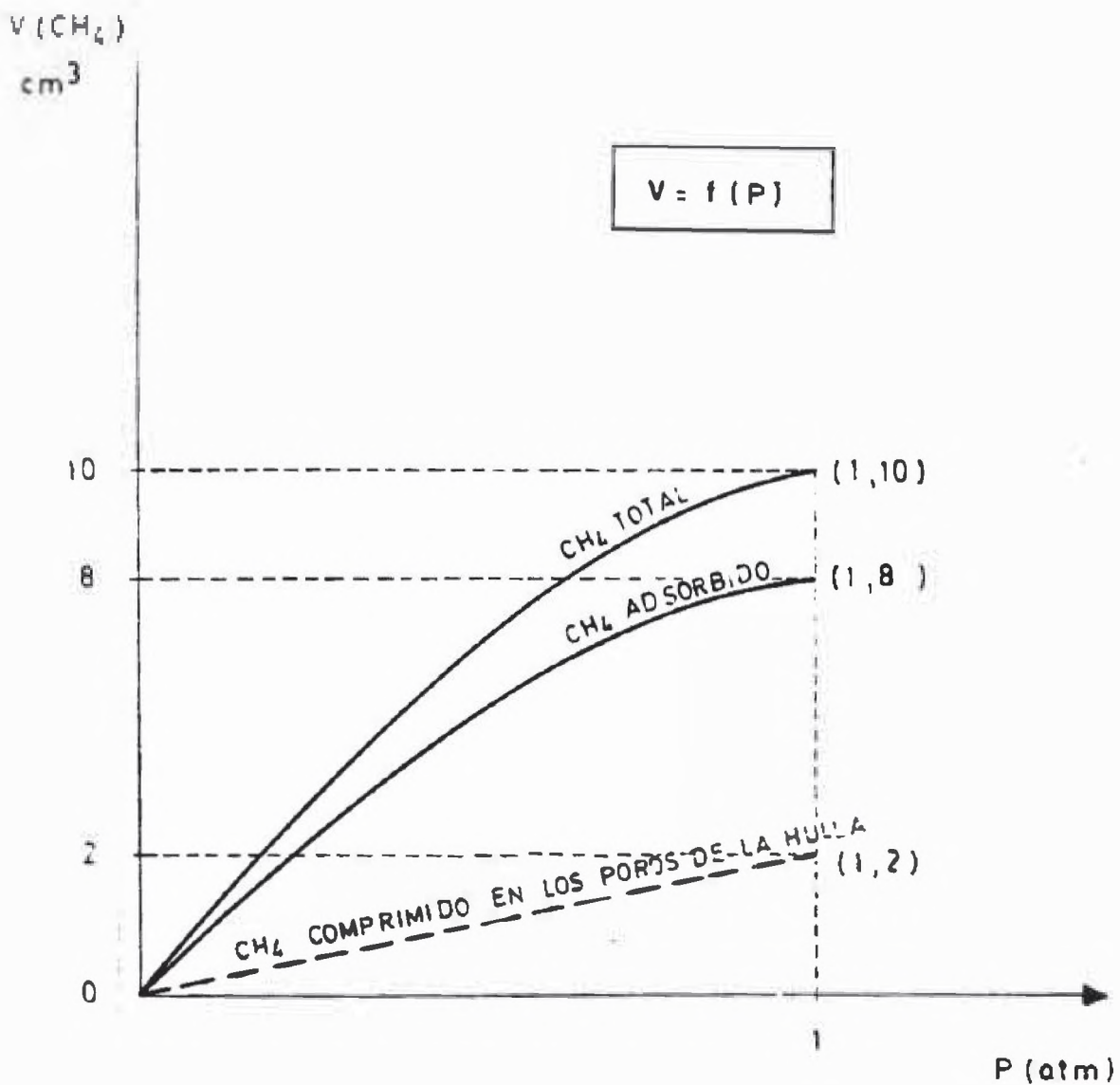
b) En los trazados en capa.

Los desprendimientos no aparecen jamás en las paredes laterales de los trazados.

---

(1) y (2). Ver Bibliografía. Punto 9.6.

MARCHA DE LA CURVA DE  
ABSORCION



A CONDICION NORMAL DE TEMPERATURA Y  
PRESION

Existe el peligro de que el hundimiento no sea progresivo, sino que se produzca de golpe.

c) En los yacimientos profundos.

Para dos yacimientos diferentes, no hay correspondencia entre la profundidad, el número y la importancia de los DI. Algunos yacimientos a 300 mts. de profundidad son muy peligrosos desde el punto de vista de los DI, mientras que muchas minas que pasan de 1000 mts. no lo son. Por el contrario, en un yacimiento dado, la profundización desempeña un papel importante, multiplicándose los DI cuando se pasa de un piso al siguiente, más profundo. Es el momento de presión debido a la profundidad, el que origina un peligro creciente. La profundidad es, pues, uno de los factores de la DI.

d) En la proximidad de accidentes.

La comprensión provocada por los movimientos tectónicos y sobre todo por los saltos, es un elemento preponderante en la aptitud para los DI. Es más importante que la profundidad.

e) En la vertical de la parada de un despile de otra capa (del techo o del muro) o de pilares abandonados o incluso de una simple galería.

También aquí aparecen, en el techo, presiones anormales de los terrenos que tienden a aplastar el carbón y a hacer que se desprenda el gas cuya presión contribuirá a impulsar hacia el vacío los productos aplastados por estas presiones excepcionales.

2. Fenómeno- que precede al desprendimiento.

Este se anuncia a veces, pero otras da poco tiempo de margen:

- a) Con murmullos, roturas o proyecciones.
- b) Con soplos de gas cuya expansión tiene un efecto refrigerante.
- c) Con un desmoronamiento del frente, en ciertos casos, con hinchamiento e incluso con avance del frente.

Sin duda un carbón desmenuzable se presta con mayor facilidad al desmoronamiento que permite un desprendimiento rápido.

El desmenuzamiento previo del carbón no es una condición necesaria, pues también se produce, y muy violentamente en capas de carbón brillante, duro que da gruesos pedazos en el arranque. (1)

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

### 3. El desprendimiento.

El DI es un fenómeno puramente físico en que ni la naturaleza del gas, ni la naturaleza de la materia que lo contiene, desempeñan un papel esencial.

La palabra instantánea puede prestarse a confusión haciendo pensar en un fenómeno tan breve como el de la descomposición de un explosivo. Si comienza bruscamente, el fenómeno se prolonga con frecuencia más de un minuto.

Los desprendimientos de  $\text{CO}_2$  son más fuertes que los de  $\text{CH}_4$ .

Esto se explica por el hecho de que a una presión dada el carbón absorbe de tres a cinco veces más  $\text{CO}_2$  que  $\text{CH}_4$  mientras que la permeabilidad del carbón al  $\text{CO}_2$  es tres veces inferior a la del  $\text{CH}_4$  lo que retrasa su desprendimiento normal.

Sin embargo, el DI del pozo, en el Gard, en 1938, proyectó 1267 toneladas y liberó 400,000  $\text{m}^3$  de metano. Se puede calcular por la expresión :

$$\text{DI} = \frac{\text{Gas emitido}}{\text{tonelaje proyectado}}$$

DI varfa de 20 - 300  $\text{m}^3/\text{TM}$ .



En general, puede decirse que las minas con DI de  $\text{CH}_4$  no son a la fuerza las más grisutosas.

Minas con un desprendimiento superior a 100  $\text{m}^3/\text{TM}$  de carbón no han dado jamás lugar a DI mientras que otras, desprendiendo menos de 15  $\text{m}^3/\text{TM}$ , tienen DI violentos. La proporción de grisú no es, al igual que la profundidad, el elemento determinante. (1)

#### 4. Mecanismo del desprendimiento instantáneo.

El objeto de este estudio es el conocimiento de los distintos parámetros que actúan sobre los DI y su medida para que permita abordar el cálculo de las condiciones de desprendimiento y la prevención de los DI. Los DI dependen de presiones de terrenos que todavía no es posible calcular bien.

Se puede, sin embargo, decir que el DI aparece en una capa comprimida y cargada de gas por rotura de una hendidura en el estéril o en el carbón que lo contiene. La hendidura no pertenece a la zona fuertemente comprimida, sino, que es, por el contrario, una zona

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

de expansión próxima a los huecos.

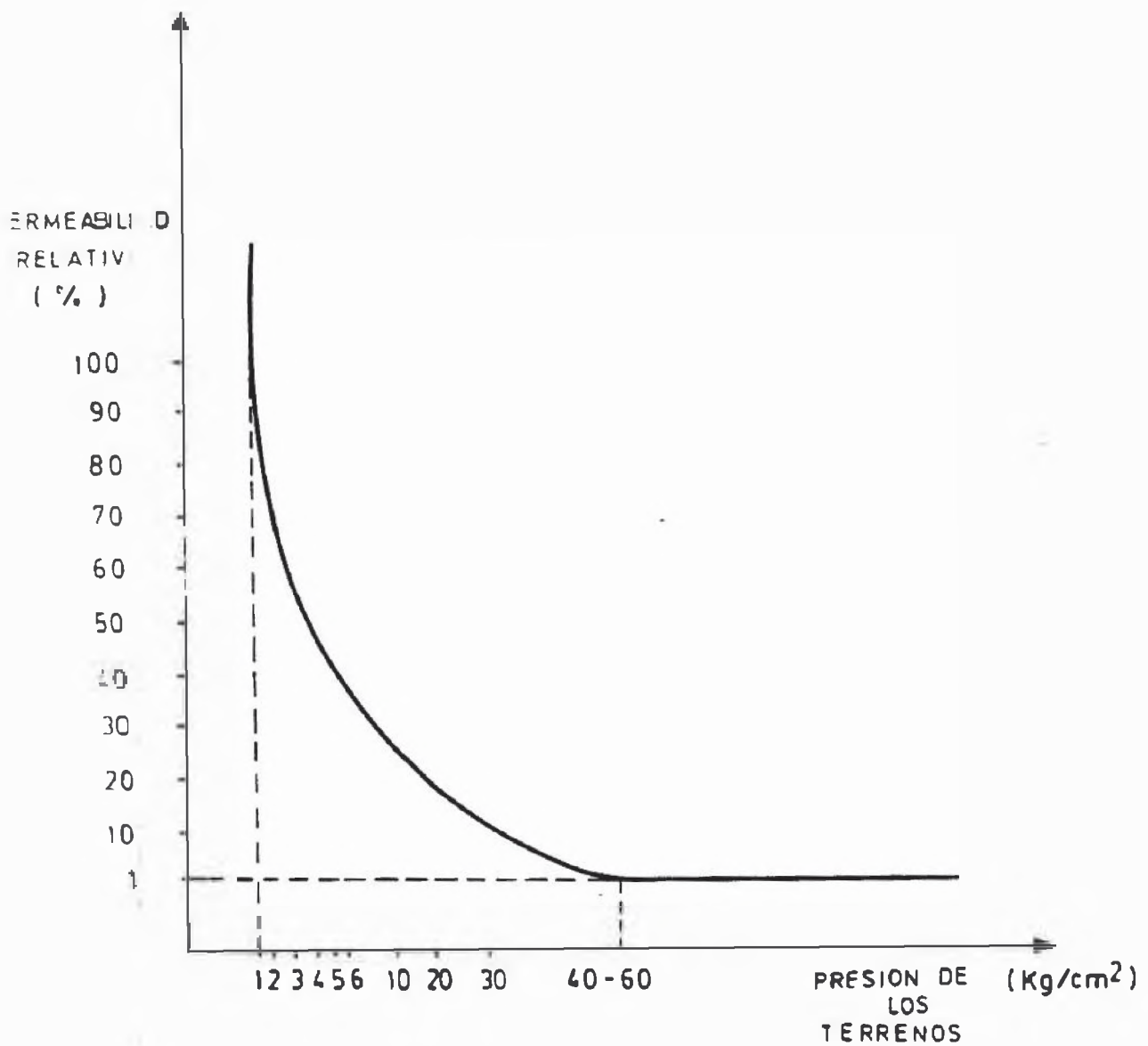
Su ruptura puede deberse bien al arranque progresivo del martillo picador, bien a un tiro potente, a una sacudida del techo e incluso a hundimiento. Es cierto que el gas es liberado por rotura del carbón y no el carbón roto y pulverizado por la liberación del gas. Se ha demostrado que la permeabilidad del carbón disminuye de manera considerable con la presión. (Ver gráfica 4.2).

La curva que representa la relación permeabilidad-presión es una hipérbola, cuyo valor de permeabilidad cae a 1-100% cuando la presión pasa de 1-60 kg/cm<sup>2</sup>. El grisú de las minas - con DI tiene una especial dificultad para evacuarse de forma normal. Queda, incluso, gas en la capa cada vez más fragmentada por presiones muy fuertes, pero que no se libera más que con la ruptura de lo que hemos llamado hendidura.

Sin embargo, es probable que favorezca y completa con su liberación la disgregación provocada por el fenómeno mecánico.

Es más, su expansión violenta contribuye considerablemente al desplazamiento del carbón y al arrastre de los polvos, de tal forma que -

PERMEABILIDAD DEL CARBON



los efectos mecánicos del fenómeno, la abundancia de descenso de proyección, pueden ser importantes sin que exista gas en cantidad. (1).

El arrastre por el gas de los productos triturados deja un vacío que permita la contaminación del fenómeno.

Esta es la razón por la cual la capa puede ser pulverizada o triturada en gran extensión, muy superior, en general, a lo que ocurriría en los golpes de techo puros, donde es finalmente triturada sin que se produzca DI. En relación con todo lo que hemos expuesto y el hecho de que la zona pulverizada se encuentra en situación posterior a la hendidura ejemplo en la mina Wenceslas (Hungria) En donde un DI produjo 151 muertos en 1930: tuvo lugar la explosión en la base de un taller en dirección de 190 mts. de frente, avanzando en pleno macizo en una capa de 1.50-2.50 mts. de potencia, con techo de arenisco compacta situada en una región afectada por movimientos tectónicos intensos, circunstancias todas ellas propicias a un golpe de techo. Se comprobó así el efecto violento golpe de techo. (2)

---

(1) y (2) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

## 5. Explotación de las minas con DI

### 1. Principios generales.

La probabilidad de desprendimiento es mucho mayor en cuencas con movimientos tectónicos - en la proximidad de accidentes geológicos con compresiones muy fuertes o con gran profundidad. (1)

Deben tomarse las precauciones siguientes:

- a) Explotar primero una capa llamada broquel o capa reconocido, poco apta al DI. La explotación de esta capa descarga los terrenos y reduce así el peligro de DI en la siguiente capa. El procedimiento es muy eficaz.
- b) Evitar las sobrecargas de la explotación (pilares de protección, ángulos agudos, explosiones intempestivas y todas cuantas - puedan producir una sacudida del techo).
- c) Trabajar en descenso más que en ascenso para no tener el peso de carbón.
- d) Aflojar primero con trazados los cuarteles explotados antes de atacar los despiles. En capas potentes, estos trazados deben hacerse siempre al techo.

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

En las capas con DI de CO<sub>2</sub> o DI mixtos, se harán dos series de trazados en forma cuadrícula.

e) Despilar los frentes de forma bien alineadas y desconfiar de las zonas accidentadas y de techos seguros (sobre todo si son areniscas). En general, puede decirse que cuando se pasa de la capa absolutamente virgen a una capa donde ya han existido trabajos, se ve aumentar el efecto de los movimientos bruscos de l techo a causa de la producción de DI.

## 2) Reglas aplicables al taller sospechoso.

Sólo nos aproximamos a una capa con DI con muchísima prudencia, parándonos a varios metros y reconociéndola por sondeos.

En los talleres sospechosos no se utilizarán herramientas y se evitarán los tiros débiles.

La mejor precaución es el empleo de tiros sistemáticos de conmoción bastante potentes.

Debe vigilarse el sostenimiento y las campanas en la entibación, que es necesario fortificar y rellenar.

En las minas con fuertes DI donde los tiros de conmoción se hacen desde el exterior, no se

visitarán los frentes hasta 30 minutos después de efectuado el tiro y mejor con un grisómetro que con la lámpara de llama.<sup>(1)</sup>

### 3) Clasificación de los talleres.

Según las prescripciones administrativas se clasifican los cuarteles en categorías y definen las precauciones a tomar en cada caso.

Los cuarteles con DI de CO<sub>2</sub> o con DI mixtos en capas estrechas, se distinguen las categorías siguientes:

C1→sólo están autorizados los tiros de conomoción y se prohíben las herramientas mecánicas o de mano.

C2→Autorizados tiros de arranque. El barrerno se carga sin la prescripción del mínimo de carga, que continúan estando prohibidas las herramientas de mano.

C3→Se autorizan herramientas.

C4→Caso de operaciones de desescombros con de los DI.

Los tiros de arranque están prohibidos y los que se ejecuten deben dispararse desde el exterior.

(1). Ver Bibliografía. Punto 9.6.

En capas potentes en franjas horizontales o inclinadas, las categorías se definen según la posición de la franja con respecto a los rellenos y según se encuentran al muro o al techo. (1)

#### 4) Medidas diversas

Se exige medidas de prevención muy variados en las minas con DI y en particular, el establecimiento de refugios de doble puerta, alimentados con aire comprimido, donde los artilleros se refugian. Han de tomarse medidas para el restablecimiento de la ventilación en casos de DI. El empleo de la electricidad en caso de las minas con DI ha de seguir un reglamento particular.

Controles con planos y registros definen en cada caso de DI su exacta situación, los volúmenes de carbón proyectados y los gases emitidos, así como la disposición precisa del vacío que debe quedar perfectamente limpio y relleno por completo. (2)

---

(1) y (2) Ver Bibliografía. Punto 9.6.



#### 4.2.4.2 Polvo de Carbón

El polvo de este mineral produce dos clases de peligro, de naturaleza diferente.

- a) Por una parte, la inhalación de ellos causa graves enfermedades como el antrocsilicosis.
- b) El polvo de carbón puede ser inflamable y su combustión explosiva. Ejemplo, en 1906, la explosión del polvo de carbón en Courrières destruyó 110 km. de galerías, tres minas quedaron destruidas y hubo 1099 muertos.

#### Producción de polvo de carbón

En las labores de acceso, preparación y explotación, en el aire de la mina se producen acumulaciones de polvo de intensidad variable y características distintas.

Las siguientes actividades son fuentes principales en la producción del polvo de carbón:

- a) La mayor parte de polvo de carbón se produce antes de comenzar el arranque en la capa.
- b) Se produce por efecto de las presiones de explotación.
- c) Por rozamiento de las grietas de presión que se forman.

- d) Por el fraccionamiento del carbón durante el arranque.
- e) En el transporte,
- f) En los talleres de explotación.
- g) En los puntos de carga o de cambio.
- h) El polvo contenido originalmente en los crueros del carbón tiene escasa importancia en relación con las anteriores,

También en el exterior se produce polvo de carbón en la clasificación y carga y si estas instalaciones de carga están cerca del pozo de entrada de aire, el polvo seco puede ser arrastrado en suspensión y depositarse luego en las galerías que parten del pozo. Por esta razón, es -- también posible que en el exterior se puedan producirse explosiones de polvo de carbón.<sup>(1)</sup>

### Composición

El contenido de materiales volátiles combustibles está en función con su edad y tipo de carbón, - tiene efectos muy importantes sobre la explosividad del polvo, ésta aumenta con el incremento de materiales volátiles en el carbón.

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

El índice de volátiles puede calcularse de la siguiente forma:

$$\%V = \frac{V_{\text{material volátil}}}{\text{combustible total (incluye MV)}} \times 100$$

**Combustible Total.**

Es el carbón sin cenizas ni humedad. Es muy importante el contenido de cenizas y humedad, puesto que el aumento de estos constituyentes, reduce la explosividad de los polvos de carbón.

La humedad absorbe una parte de energía de ignición para calentarse y evaporarse, el vapor formado actúa como gas inerte diluyendo la atmósfera. La humedad también moja y aglomera las partículas finas, y reduce su tendencia a dispersarse. Se ha determinado que la humedad afecta más la explosividad del polvo que las cenizas.

El contenido de cenizas mínimo requerido para que el polvo deje de ser explosivo es de 50-60%, aumentando a ésta de 8 a 10% por cada 1% de contenido de metano. (1)

#### Propiedades

a) El carbón es un material capaz de convertirse en explosivo cuando se encuentra al estado pul

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

verizado,

- b) Las partículas de carbón tiene la capacidad de absorber y adsorber oxígeno.
- c) Durante el calentamiento tiene la propiedad de desprender los materiales volátiles combustibles.
- d) La temperatura de ignición del polvo de carbón fino y seco es de 700-800°C, por lo tanto todas las fuentes que encienden al metano pueden encender al polvo de carbón.
- e) Las partículas de tamaño 830 micras (malla 20) y en algunos casos mayores, pueden intervenir en la explosión, pero las partículas más finas menores de 100 micras son los que tienen influencia sobre la ignición, violencia y velocidad de propagación de la explosión. Con la disminución de tamaño hasta 10 micras, aumenta la explosividad del polvo; pero para tamaños menores, las partículas se oxidan rápidamente y tienden a aglomerarse, disminuyendo la explosividad. (1)

#### Distribución del Polvo en la Mina

El polvo de carbón puede estar presente en todas las superficies, en cantidades suficientes para

---

(1). Ver Bibliografía. Punto 9.6.

propagar una explosión.

El polvo asentado en los costados, techos y enmaderado es usualmente más fino que el del piso por lo tanto es más peligroso y su concentración debe ser menor.

El polvo de carbón se encuentra principalmente en los frentes de arranque y en las tolvas de carga, hallándose también en gran cantidad en las galerías generales de transporte, en que el movimiento levanta el polvo de carbón y por ser estas galerías generalmente de entrada de aire, éste le hace acumular en las paredes y estibaciones de la galería.

En cambio el polvo más fino que se desprende en las labores de arranque va arrastrado por la corriente de ventilación depositándose con frecuencia y tomando el aspecto de hollín en la galería que conduce al ventilador aspirante. Como este polvo depositado va oxidándose lentamente, resulta más inflamable que el producido por la trituración inmediata del carbón. (1)

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

#### 4.2.5 Fuentes de Energía Calorífica

La prevención y extinción del fuego dependen del dominio que se ejerza sobre energía calorífica, es importante conocer las formas más comunes en que se produce dicha energía. Existen básicamente cuatro fuentes de energía: química, eléctrica, mecánica y nuclear.

##### La energía calorífica química

Son fuente de calor que constituyen el principal interés del ingeniero, dedicado a la protección contra incendios.

Las reacciones de oxidación son exotérmicas, por lo tanto, producen cantidad de calor, es decir, convierten la energía química contenida en las moléculas originales, en energía térmica. (1)

##### Energía calorífica de origen eléctrico

La energía eléctrica produce calor cuando fluye por un conductor o salta una chispa debido a una discontinuidad de la conducción.

La resistencia eléctrica de cualquier sustancia depende de sus características atómicas y moleculares y es proporcional a la energía necesaria

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

para mover cualquier unidad de cantidad de electrones a través de la sustancia, venciendo las fuerzas de colisión y captura de electrones. <sup>(1)</sup> Este gasto de energía aparece en forma de calor. La energía calorífica eléctrica puede presentarse en los siguientes casos:

1. Calentamiento por resistencia.
2. Calentamiento dieléctrico.
3. Calentamiento por inducción.
4. Calor debido al arco eléctrico
5. Calentamiento por electricidad estática, llamado también electricidad por fricción, se corresponde a una acumulación de carga eléctrica en la superficie de dos materiales que se han unido y separado después. La superficie se cargan entonces positiva y negativamente.
6. Calor generado por el rayo.

#### Energía Calorífica de origen mecánico

La energía calorífica de origen mecánico es responsable de un importante número de incendios, - todos los años. El calor originado por fricción produce la mayor parte de estos incendios aunque hay unos pocos y notables. <sup>(2)</sup>

---

(1) y (2). Ver Bibliografía. Punto 9.6.

Ejemplo de ignición por energía calorífica mecánica desprendida por compresión pueden ser los siguientes:

1. Calor de fricción.
2. Chispas de fricción.
3. Calor por compresión.
4. Sobrecalentamiento de maquinarias.

#### Energía Calorífica de origen nuclear.

La energía calorífica nuclear es la que despiden el núcleo de un átomo. Este núcleo se compone de materias muy unidas por tremendas fuerzas, que pueden liberarse cuando se le bombardea con partículas. La energía desprendida por el bombardeo del núcleo es generalmente un millón de veces mayor que la desprendida por las reacciones ordinarias.

El desprendimiento instantáneo de grandes cantidades de energía calorífica nuclear da por resultado una explosión atómica, mientras que el regulado se convierte en una fuente de calor para empleo diario, ejemplo, la generación de vapor para estaciones generadoras de electricidad.



#### 4.2.6 Principio del fuego

La investigación de las propiedades de ignición de los gases y combustión de los combustibles líquidos o sólidos es más compleja debida a la heterogeneidad de los mecanismos de reacción presente.<sup>(1)</sup>

La ciencia de la protección contra el fuego se apoya en los siguiente principios:

- 1) Para que exista combustión es esencial un agente oxidante, una materia combustible y una fuente de ignición.
- 2) Antes que arda, el material combustible debe calentarse hasta que alcance su temperatura de ignición.
- 3) La combustión continúa hasta que:
  - a) El material combustible se consume o es apartado de la fuente de calor.
  - b) La concentración de agente oxidante se reduce por debajo de la concentración necesaria para eliminar la combustión.
  - c) El material combustible es enfriado por debajo de su temperatura de ignición y.
  - d) Las llamas son inhibidas químicamente.

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

#### 4.2.6.1 Reacciones de oxidación.

Las reacciones de oxidación presentes en los fuegos son exotérmicas, es decir, que uno de los productos de la reacción es el calor.

Muy frecuentemente son complejas y muchas no se han llegado a entender por completo. Sin embargo, podemos hacer algunas afirmaciones útiles al respecto.

Para que se produzca una reacción de oxidación, deben estar presentes el material combustible y un agente oxidante. La materia oxidante más importante es el oxígeno que existe en el aire.<sup>(1)</sup>

#### 4.2.7 Incendio en las Minas de Carbón.

La expresión fuego puede originar confusión, es más que un calentamiento por oxidación lenta o combustión espontánea del carbón.

Mientras el incendio es una combustión viva, rápida y descontrolada, que puede ser ocasionada por un fuego, una explosión de grisú, de polvo, de un cortocircuito, etc.

No existe una definición exacta aceptada universalmente de lo que constituye un gran incendio o una conflagración. La mejor práctica es la de a

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

plicar este término solamente a los incendios que se extienden sobre una zona considerable y ocasiona mayor destrucción. (1)

#### 4.2.7.1 Causas del incendio

Las condiciones previas al nacimiento de un fuego son: la existencia de una depresión de aire y la de fisuras estrechas en el macizo del carbón. Si las fisuras no existieran, no habría ni circulación de aire ni oxidación.

Si son anchas, la circulación es tan abundante, habría eliminación de calorías, producida por la oxidación y la temperatura no aumentaría.

Los siguientes puntos son riesgo potencial de - causa de incendios:

##### a) Montajes de taller

Si hay rotura de techo, en lugares donde arranca un taller, restos de carbón y tendencia a una circulación de aire facilitada por la depresión, puede producirse una oxidación, dando origen al fuego.

##### b) Paso de relleno al hundimiento.

Produce un cambio del nivel del techo que puede ser peligroso, sobre todo si el techo es carbonoso.

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

## c) Fallas o resaltos de techo

Son pasos naturales de aire. En su proximidad además, el carbón no se extrae por completo. El carbón de las fallas, es de una estructura particular muy fina, que favorecen la circulación.

## d) Hundimientos o línea de pilares de maderas abandonadas en la capa..

Son muy peligrosos porque permiten la circulación del aire, puede originar el inicio del fuego.

## e) Cuarteamiento de los pilares de protección.

El carbón al lado del pilar se cuarteará y el maciso fisurado se calentará.

En las galerías paralelas, cuando uno es entrada y otro retorno de aire, se crea una depresión grande que aumenta el peligro de fuego.

## f) Galerías con carbón en el techo.

El carbón se descomprime y se inicia calentamientos, sobre todo en los cruceros y en partes rectas. La explotación por relleno a mano, en tiempo muy generalizada en esta clase de capas, ha producido muchos fuegos. Se evitará en cualquier caso el empleo de relleno carbonoso, causa frecuente de fuegos, en especial en las capas potentes.

Ciertas capas son más peligrosas que otras. La presencia del azufre es uno de los elementos que facilitan la inflamación; las influencias tectónicas, pliegues, charnelas, etc. Hay más fuegos en capas ricas en materiales volátiles. Los incendios más frecuentes son causados por un fuego, una explosión del grisú, del polvo de carbón, deflagración del explosivo, un cortocircuito, la explosión de un transformador, empleo de un soplete, etc. también son causa de incendio los pozos, las balanzas y las galerías con fajas transportadoras. (1)

#### 4.2.7.2 Origen de la combustión

El origen y evolución de la combustión se suceden de la siguiente forma:

##### 1) Combustión de polvo de carbón.

El polvo de carbón o partículas absorben del ambiente de la mina el oxígeno o sea se realiza la oxidación.

La oxidación se inicia a temperatura ambiental desde el momento del arranque, perdiendo su -

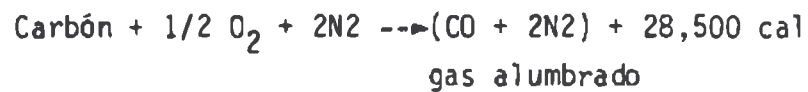
---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

brillo para tomar un aspecto mate, en este proceso de oxidación se produce calentamiento espontáneo y al calentarse adquiere la propiedad o capacidad de desprender con facilidad los materiales volátiles combustibles. (1)

El calor lentamente se acumula, elevándose la temperatura, elevación que puede ser favorable, por la oxidación simultánea de las piritas, llegada a la temperatura de 65°C la oxidación es muy rápida, llegada a la temperatura de 700-2000 °C para la diversidad de carbones fino y seco, empieza una verdadera combustión. (2)

Si la combustión es rápida puede llegar a la destilación en los macizos requebrajados, originando verdadero gas del alumbrado, que resulta más peligroso que el grisú, por no presentar retraso en inflamarse.



La composición del gas debe ser: 33.3% de CO y 66.7% de nitrógeno.

En conclusión todas las fuentes que encienden al metano, pueden encender al polvo de carbón.

---

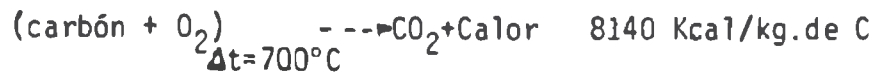
(1) y (2). Ver Bibliografía. Punto 9.6.

- A) Las principales condiciones que influyen en la susceptibilidad del carbón al calentamiento espontáneo son:
- a) El tamaño de las partículas.
  - b) La capacidad de absorción del oxígeno por las partículas.
  - c) El contenido de humedad encerrado en el carbón.
  - d) El aire atrapado en los huecos de los montones de carbón.
  - e) La presencia de azufre en forma de piritas o marcasitas.
  - f) Los gases libres contenidos en las pilas.
  - g) Las sustancias extrañas contenidas en las pilas.
  - h) El método y profundidad del apilamiento.
  - i) La temperatura de las paredes y del piso de contención o de las superficies circundantes y
  - j) El tipo y cantidad de ventilación.
- B) Las reacciones químicas básicas de la combustión son:



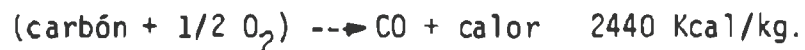
- a) La reacción de oxidación completa.

Se produce con exceso de oxígeno del aire, la reacción es la siguiente:



b) La reacción de oxidación incompleta.

Se produce por insuficiencia de oxígeno - del aire, la reacción es la siguiente



## 2) Combustión del gas Metano.

El metano mezclado con el aire en cierta proporción se inflama a la temperatura de ignición de 482-632°C, los límites de inflamabilidad en % en volumen de aire son: límite inferior a 4.7-5% y límite superior hasta 15%.

Al inflamarse se origina una combustión lenta, pero se ha comprobado en las minas que existen gas grisú, más inflamables que en otras, por tal motivo se denomina a los más inflamables -grisú vivo- esta propiedad es debido a la presencia de hidrógeno y en otros casos etileno; y -grisú blanco- es menos inflamable, se produce a mayor temperatura la combustión, esta propiedad es debido a la presencia de bióxido de carbono que disminuye su inflamabilidad.

Para que se produzca la combustión es necesario la cantidad del aire; por 1 m<sup>3</sup> de gas metano se necesita 10.2 m<sup>3</sup>. de aire.



La inflamación se produce a presión ordinaria en estado de reposo y si aumenta la presión disminuye, en cambio el movimiento y la temperatura, aumentan la difusión de los gases, aumentando la velocidad de combustión. (1).

A) Condiciones de inflamación.

a) Bajo el efecto de la temperatura el grisú se inflama:

- a 650°C en algunos segundos.
- a 600°C en algunos minutos y
- a 500°C en algunas horas.

b) Esta temperatura desciende notablemente con la adición de ciertos gases ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ) o de ciertos óxidos  $\text{CO}_2$ .

La temperatura se vuelve con la adición de inhibidores, como:  $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{CO}_2\text{NaH}$ , etc.

c) La ionización produce también la inflamación, el arco eléctrico, una chispa e incluso la ruptura de un tubo fluorescente frío produce la combustión.

Se ha demostrado que la reacción comienza cuando aparecen en cantidad suficiente gérmenes -

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

propagadores (radicales libre o iones).<sup>(1)</sup>

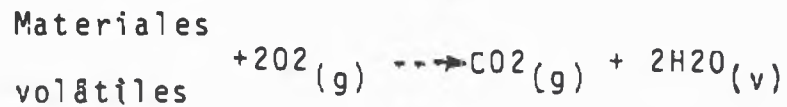
B) Causas de inflamación.

- a) Los explosivos, su descomposición dá gérmenes que pueden ser origen de inflamación.
- b) El incendio, las cerillas y el mecero en tiempos pasados;
- c) El arco y la chispa.
- d) El escape de la locomotora Diesel, si los gases no se han enfriado.
- e) El choque entre rocas, se sabe, la chispa provocada por una arenisca sobre una muela, inflama.
- f) El choque de una herramienta sobre la roca, se sabe que un martillo perforador con corte afilado puede inflamar el grisú;
- g) El frotamiento entre metales, produjo accidente en Alemania Mathias Stinnes provocadas por el frotamiento entre aletas de un ventilador, a partir de este momento el Reglamento Alemán exige que las aletas sean de alumunio.
- h) Las descargas electrostáticas, una masa metálica aislada golpeada por el relleno neumático, el frotamiento de una correa cargada de electricidad estática, etc.

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

C) Las reacciones químicas básicas de la combustión del metano son:



a) Reacción de oxidación completa.

Esta reacción se produce cuando existe oxígeno del aire en exceso. La composición perfecta corresponde a 9% de Metano ( $\text{CH}_4$ ), para 91% de aire, en el ambiente de la mina.

La temperatura alcanza hasta  $2200^\circ\text{C}$  y la presión a 9 atm. a volumen constante.



b) Reacción de oxidación incompleta.

Se produce por insuficiencia de oxígeno del aire.



#### 4.2.7.3 Combustión sin llama

El proceso de combustión tiene lugar de dos modos distintos: la combustión sin llama, en el que se encuentra la incandescencia y las ascuas incandes-

cencia profunda y superficial y, la combustión con llama, en donde se incluye también las explosiones. Estas dos modalidades no se excluyen, pueden tener lugar separada o conjuntamente.

La combustión sin llama puede simbolizarse correctamente con el tradicional triángulo del fuego, en el que cada uno de los tres lados es contigua a los otros dos y representa uno de los tres requisitos básicos: combustible, temperatura y oxígeno. Ver gráfica 4.3.pág. 152.

El oxígeno se encuentra en la superficie de contacto del combustible incandescente y se realimenta de la radiación que genera, no hay reacción en cadena, mayormente este comportamiento adoptan los combustibles sólidos, formando así sólidos incandescentes, excepto los combustibles de naturaleza sintética (variedad de plásticos) la combustión es con llama. La combustión empieza con cierta llama y pasa en forma gradual hacia una fase sin llama, durante la cual, ambos modos actúan simultáneamente, al final cesa la llama y prosigue la combustión. Mayormente las combustiones sin llama son lentas y pueden durar mucho tiempo, hasta que se consuma todo el combustible sólido.<sup>(1)</sup>

---

(1). Ver Bibliografía. Punto 9.6.

#### 4.2.7.4 Combustión con llama

La combustión es una reacción rápida consistente en la combinación continua de un combustible -agente reductor-, con ciertos elementos, entre los cuales predomina el oxígeno libre o combinada-agente oxidante.

La combustión con llama se concibe como un tetraedro, en el que cada uno de los cuatro lados es -contiguo a los otros tres y cada uno representa uno de los cuatro requisitos básicos:

combustible, temperatura, oxígeno y reacciones de combustión en cadena. Ver Gráfica 4.4. pág. 152.

Esta modalidad de combustión es generalmente propia de los líquidos y gases, inflamables, arden siempre con llama, excepto los plásticos o material sintético -sólidos-, pueden considerarse como líquidos inflamables congelados, como tales, se funden cuando hay una realimentación térmica suficiente antes de su combustión. La característica común a todos estos combustibles es que se vaporizan y mezclan con oxígeno inmediatamente antes de la combustión.

La difusión y reignición del combustible en forma de vapor o gas, continúa automáticamente, alcanzando niveles de temperatura de la llama.

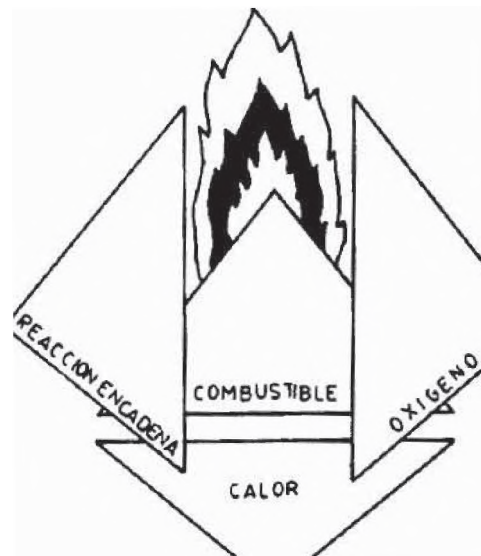
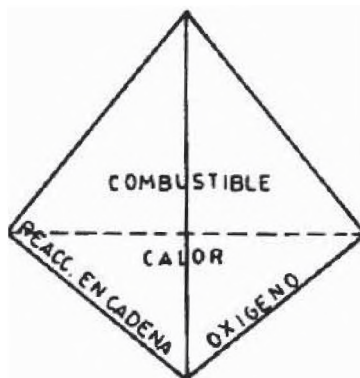
GRAFICA 4.3

## TRIANGULO DEL FUEGO



GRAFICA 4.4

## REPRESENTACION DEL TETRAEDRO



#### 4.2.7.5 Energía de Activación.

Es la energía adicional o en exceso, que deben poseer las moléculas reaccionantes, por encima de la media o promedio de energía que poseen normalmente las moléculas a una temperatura da da, para que puedan participar en una reacción química.

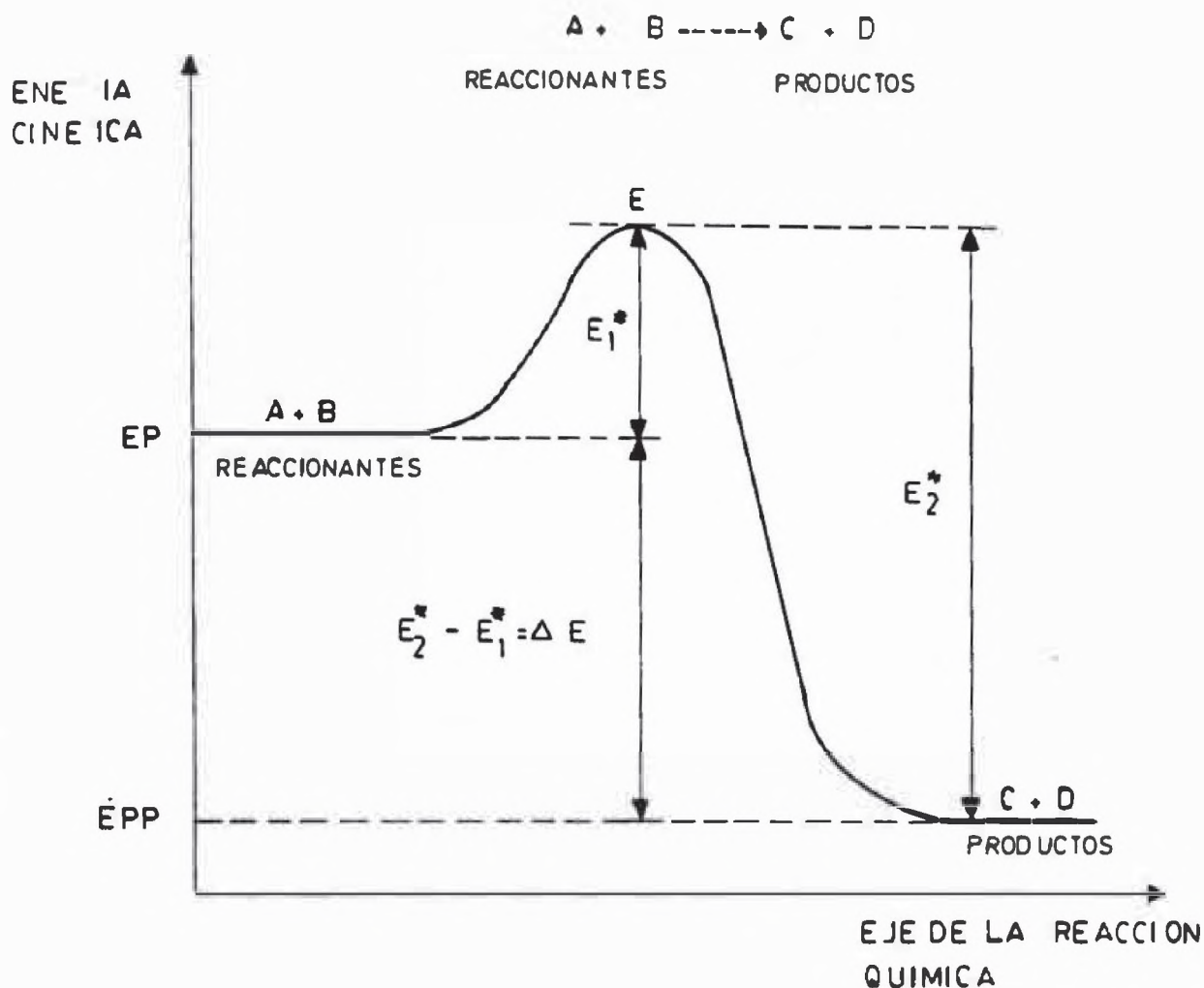
A mayor temperatura, mayor será el número de moléculas en el estado activado. La energía de activación puede desenvolverse en una mayor velocidad de la reacción.

Por ejemplo, en las reacciones de las moléculas A y B, cuyo resultado da las moléculas C y D, como se desprende en la ecuación siguiente :



cuya energía de activación, de esta reacción química su comportamiento se ve en el gráfico - 4.5.

GRAFICA DE LA ENERGIA DE ACTIVACION DE UNA REACCION QUIMICA



E = LA MINIMA ENERGIA DE ACTIVACION QUE DEBEN ALCANZAR LOS REACCIONANTES O ESTADO ACTIVADO.

E<sub>1</sub>\* = ENERGIA DE ACTIVACION ABSORBIDA POR LOS REACCIONANTES.

E<sub>2</sub>\* = ENERGIA DE ACTIVACION EMITIDA POR LOS PRODUCTOS.

ΔE = VARIACION DE ENERGIA DE ACTIVACION DE LA REACCION.

EP = ENERGIA PROMEDIO DE LOS REACCIONANTES ANTES DE LA REACCION.

EPP = ENERGIA PROMEDIO DE LOS PRODUCTOS.



Cada reacción posee una energía de activación característica.

Las reacciones con pequeñas energías de activación tienen lugar más fácilmente que las reacciones de energías de activación altas. En la figura la energía de activación emitida por los productos es mayor que la energía de activación absorbida por los reaccionantes. (1)

La diferencia de:

$$Q_r = E_2^* - E_1^* \text{ es el calor de reacción.}$$

$$\Delta E^* = Q_r \text{ calor de reacción.}$$

La ecuación de ARRHENIUS, expresa la dependencia de la constancia de velocidad "K" respecto de la temperatura "T", es:

$$\frac{d(\ln K)}{dt} = \frac{E^*}{R T^2}$$

$E^*$  se considera constante para un instante y la integración de la ecuación entre los límites  $T_1$  y  $T_2$ , se obtiene:

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = \frac{E^*}{R} \times \frac{T_2 - T_1}{T_1 \times T_2}$$

$$\log \frac{K_2}{K_1} = \frac{E}{2.30 R} \times \frac{T_2 - T_1}{T_1 \times T_2}$$

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

Donde:

K1 es la constante de velocidad a T1

K2 es la constante de velocidad a T2

R constante universal de los gases

(R = 1.99 cal/mol-°K)

De tal manera conociendo K1 a cualquier temperatura T1, se puede calcular K2 a la temperatura T2.

#### 4.2.7.6 Átomos y Radicales libres

Los átomos y radicales libres juegan un gran papel en muchos de los procesos químicos. En una serie de casos son centros activos que estimulan un proceso químico. Esto se refiere en parte, a las reacciones en cadena. Los radicales se distinguen de las moléculas por tener uno o varias valencias libres por ejemplo el radical metilo (CH<sub>3</sub>-) son partículas muy activas, que se producen en una combustión.

Esto explica en muchos casos, su alto poder de reacción. Los radicales se pueden obtener por diferentes métodos:

- a) Mediante la descomposición térmica de compuestos orgánicos o metálicos, este método es propio también de la combustión.

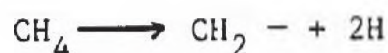
- b) Mediante la descomposición fotoquímica de aldehidos y cetonas;
- c) Como resultado de una reacción en descarga eléctrica.
- d) Por la acción de metales sobre compuestos orgánicos halogenados.
- e) Mediante el bombardeo de moléculas con rayos  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , y neutrones.

La rotura de un enlace covalente en las moléculas de un gas trae consigo con frecuencia la formación de dos radicales neutros.

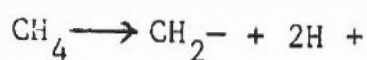
Estas reacciones se llaman atómicas u homolíticas. La energía de rotura homolítica es mayor que la energía de rotura heterolítica de un enlace covalente.

Los radicales orgánicos libres tienen generalmente un espín electrónico descompensado y, por consiguiente, manifiestan propiedades paramagnéticas. Se considera que el paramagnetismo es un índice de radicales libres.

Mediante la eliminación de dos átomos de hidrógeno de moléculas de hidrocarburos, se pueden obtener biradicales orgánicos estables, ejemplo:



Los bi radicales activos son de gran importancia en los procesos químicos, puesto que contribuyen a la aparición de las reacciones en cadena ramificada, ejemplo;



Formación de moléculas estables a partir de átomos o radicales.

Una molécula estable puede formarse a consecuencia del choque de dos átomos o radicales sólo si se pierde, debido a radiación o al choque con una tercera partícula o que puede ser también la superficie de un sólido, cierta cantidad de energía no menor que la energía cinética total de las partículas que chocan. Si no hay pérdida de energía, la molécula que surge como consecuencia del choque se destruye después de una vibración, puesto que la energía que se desprende al formarse el enlace permanece en la molécula formada y es suficiente para romper el enlace recién creado. Además, la molécula formada poseerá también la energía cinética de las partículas que chocan; esta energía se convertirá de nuevo, después de la rotura del enlace, en energía cinética del movimiento de traslación de los fragmentos formados átomos o radicales. (1)

---

(1). Ver Bibliografía. Punto 9.6.

Existen dos mecanismos posibles de estabilización de la molécula formada:

- a) Mediante radiación y
- b) Mediante el choque con una tercera partícula impacto triple.

La posibilidad de estabilización de una molécula mediante radiación, está caracterizada por la magnitud:

$$\gamma = \frac{\tau}{\tau_0}$$

$\tau$  → duración del impacto

$\tau_0$  → tiempo de vida media de la molécula excitada

$\gamma$  → posibilidad de estabilización de la molécula formada.

La duración del impacto se puede definir como:

$$\tau = \frac{2d}{v}$$

$d$  → camino recorrido por un átomo en el campo de otro átomo.

$v$  → velocidad relativa media del movimiento de los átomos.

Es más probable la estabilización por medio de un impacto triple:



donde Z es la tercera partícula.

La probabilidad de estabilización es mayor, mientras más sea el número de grados de libertad de la tercera partícula.

#### 4.2.7.7 Reacciones en cadena.

Ha sido establecido que toda una serie de reacciones químicas transcurren de tal manera que al principio en el sistema se forman partículas activadas, con mayor frecuencia átomos y radicales libres que tienen valencias libres y, por consiguiente, alta reactividad. Estas partículas intervienen en la reacción dando origen nuevamente a átomos y radicales. Tal sucesión de reacciones que se repiten periódicamente se denomina reacción en cadena. Ver gráfica 4.6.

La formación de una pequeña cantidad de tales partículas reactivas conduce a la transformación de una gran cantidad de sustancias iniciales. Las reacciones en cadena transcurren, de ordinario, cíclicamente. La partícula activada que se regenera al final del ciclo da principio a otro nuevo, al final del cual vuelve a tener lugar la regeneración de la partícula activada. La formación del átomo o radicales libres exige un gran consumo de energía, la facilidad de la interacción de los radicales libres con las mo-

lécúlas saturadas y la regeneración de nuevos radicales libres que tiene efecto en estas circunstancias, conduce a que la velocidad del proceso que no es en cadena. De tal manera se explica la gran difusión de las reacciones químicas en cadena.

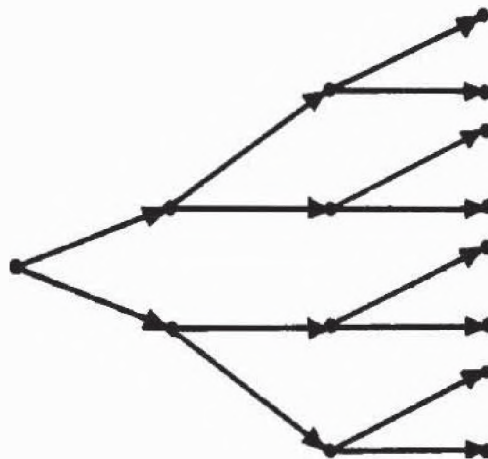
La suspensión de la reacción en cadena se llama reacciones de rotura de la cadena. El número de ciclos desde el momento de iniciación de la cadena hasta su rotura se denomina longitud de la cadena.

Cuando surgen dos o más partículas químicamente activas, se dice que el proceso es en cadena ramificada. En este caso, el número de centros activos y por consiguiente, la velocidad del proceso en el período inicial de tiempo crecerán impetuosamente hasta un momento tal, en el que la velocidad empezará a disminuir a causa del consumo de la sustancia inicial.

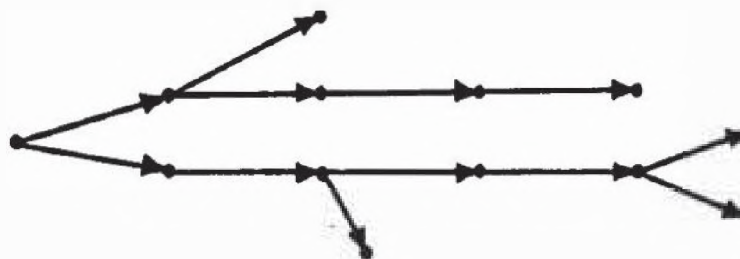
Entre tales procesos tenemos las reacciones de combustión por ejemplo durante la oxidación del metano es posible que, a temperaturas suficientemente altas, el radical HO<sub>2</sub>- formado reaccione con uno de los productos primarios de la oxidación:

$$\text{CH}_4 + \text{O}_2 \text{---} \rightarrow \text{CH}_3 + \text{HO}_2$$

ESQUEMAS DE UNA REACCION EN  
CADENA



1) ESQUEMA DEL PROCESO EN CADENA RAMIFICADA



2) ESQUEMA DE UNA REACCION CON RAMIFICACION  
ESPACIADA DE LA CADENA.



Si cada acto elemental de la reacción conduce a la ramificación de la cadena se observará una reacción con intensa ramificación de la cadena. (Ver esquema N°1).

Si la ramificación no se produce en cada acto elemental de la reacción, sino de vez en cuando se producen reacciones en las que la cadena se ramifica espaciadamente. (Ver esquema N°2).

La iniciación de la cadena es lenta, la velocidad de la reacción en cadena es mayor que la de una reacción simple. (1)

#### Reacciones en cadena ramificada

La ramificación de las cadenas y el número de nuevas cadenas que aparecen en un corto período es mayor que el número de cadenas que rompen, la velocidad de reacción aumenta rápidamente y puede ocurrir una explosión, aunque la temperatura no se lleve lo suficiente para que fuera posible una explosión térmica. El paso de una reacción al régimen de explosión sólo es posible a presiones o concentraciones y temperaturas completamente definidas de la mezcla reaccionante. A una temperatura dada existen límites de presiones en cuyas zonas es posible la explosión o autoinflamación. (2)

---

(1) y (2). Ver Bibliografía. Punto 9.6.

### Longitud de la cadena

Para caracterizar los procesos en cadena tienen gran importancia el concepto de longitud de la cadena.

La longitud de la cadena, es igual al número de reacciones (ciclos) que se originan por la intervención primaria en la reacción de una molécula de producto intermedio. Con mayor frecuencia el producto intermedio está representado por átomos o radicales que se consideran como moléculas de tipo especial.

La intervención de una molécula de producto intermedio en la primera reacción (o en el primer ciclo) proporciona, en promedio "M" nuevas moléculas de producto intermedio. Estas intervienen de nuevo en la reacción y dan "M<sup>2</sup>" moléculas del mismo, etc.

Para reacciones simples en cadena no ramificadas el valor de "M" puede ser sólo menor o igual a puesto que "M" es simultáneamente la probabilidad de que la cadena no ramificada no se rompa en un eslabón dado, sino que se forme en éste una nueva molécula activa que dé inicio a un nuevo eslabón.

De tal manera, el número total de reacciones, o la longitud de la cadena, será:

$$L = 1 + M + M^2 + M^3 + \dots = \frac{1}{1 - M}$$

$L \rightarrow$  longitud de la cadena

Si  $M = 1$ , la intervención de una partícula activa en la reacción conduce también a la generación de una partícula activa, por lo que la longitud de la cadena es infinita y el proceso será estacionario.

Si  $M < 1$ , el proceso evidentemente se extinguirá la longitud  $L$  de la cadena será mayor que 1 ( $L > 1$ ).

Si  $M > 1$ , se producen los llamados proceso en cadena ramificada.

Para  $L < 0$ , los valores negativos no tienen sentido físico, pero indican la autoaceleración del proceso en cadena ramificada  $M > 1$ , el valor absoluto de  $L$ .

$$|L| = \frac{1}{M - 1}$$

La longitud de la cadena se puede definir también como la relación entre la velocidad de formación del producto de la reacción y la velocidad de disminución de las partículas activas, esta definición no contradice lo anterior.<sup>(1)</sup>

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

Para un tiempo  $\Delta t$  se hayan formado  $\Delta MP_f$  moléculas de producto final, en estas condiciones se observa una disminución de  $\Delta MP_i$  moléculas de producto intermedio.

De acuerdo con esta definición, la longitud de la cadena será:

$$L = \frac{\Delta MP_f}{\Delta MP_i}$$

$MP_f$  moléculas de producto final.

$MP_i$  moléculas de producto intermedio.

#### 4.2.7.8 Cinética química de la combustión.

La cinética complementa a la termodinámica al proporcionar información de la velocidad y mecanismo de transformación de reactivos en productos. No todas las reacciones se prestan a un estudio cinético. Así, las reacciones en cadena se producen con tanta rapidez que parecen instantáneas. La combustión, la explosión se producen tan rápidamente, lo cual imposibilita determinar su velocidad de reacciones intermedios, cuyas velocidades resultan muy grandes, a esta categoría corresponden los gases, igual que muchas otras sustancias orgánicas.

La velocidad de una reacción depende de la naturaleza de las sustancias, concentración y temperatura de las reaccionantes. Cinéticamente las reacciones se clasifican en homogéneas o heterogéneas. Homogéneas se suceden en una sola fase, ejemplo: gases si hay dos o más fases, como sucede en la reacción de un gas en la superficie o contenido en un sólido, se dice que la reacción es heterogénea, ejemplo: polvo de carbón, el oxígeno y el gas grisú.

En general, la velocidad de una reacción química aumenta al elevarse la temperatura. La práctica ha demostrado que al elevarse la temperatura en 10°C, la velocidad de reacción aumenta de 2-4 veces.

La combustión en una mina es un proceso heterogéneo de volumen variable y no isotérmico, donde se producen las reacciones de oxidación básicas, de combustión completas, hasta las más complejas reacciones en cadena por la formación de los radicales libres o átomos.<sup>(1)</sup>

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

La cinética de las reacciones químicas en una mina son :

GAS METANO

a) Reacciones de combustión completa



b) Reacciones de combustión incompleta



Cálculo de la velocidad de reacción (v) :

a) Combustión completa :

$$v = - \frac{d(\text{CH}_4)}{dt} = k(\text{CH}_4)(\text{O}_2)^2 ; k = \frac{3}{2t^{1/2}(\text{CH}_4)^2}$$

b) Combustión incompleta:

$$v = - \frac{d(\text{CH}_4)}{dt} = k(\text{CH}_4)(\text{O}_2) ; k = \frac{1}{t^{1/2}(\text{CH}_4)}$$

Polvo de carbón

a) Reacciones de combustión completa.



b) Reacciones de combustión incompleta



Cálculo de velocidad de reacción (v)

a) Para polvo, débilmente absorbido de oxígeno

$$v = -kA ; k = \frac{2.3}{t} \times \text{Log.} \frac{P_1}{P_2}$$

b) Para polvo fuertemente absorbido de oxígeno

$$v = - \frac{dp}{dt} = k p^n ; k = \frac{P_2 - P_1}{t}$$

donde:

$t_{1/2}$  = tiempo de vida media

$K$  = constante de velocidad de reacción

$A$  = superficie cubierta por el gas.

$n$  = el orden aparente de la reacción

$P_1$  = presión inicial del gas ( $O_2$ )

$P_2$  = presión a cualquier instante  $t$

Cuando absorbe débilmente un solo gas de reacción, ésta es de primer orden y  $n = 1$ ; si la absorción es intensa y la reacción procede independientemente de la presión y el orden aparente es  $n = 0$ . Se puede ver en las gráficas de Cinéticas de las reacciones de 4.71, 4.7b, 4.7c.

#### 4.2.7.9 Cálculo del calor de combustión.

El calor de combustión es la cantidad de calor emitido durante la completa oxidación del gas grisú en bióxido de carbono y agua y, del polvo de carbón en bióxido de carbono.

El gas grisú, en una combustión completa libera de 8971 - 9532 Kcal/m<sup>3</sup> de gas; por lo tanto, sabiendo aproximadamente el volúmen del gas en la mina, se puede determinar el calor que puede producir de acuerdo a la siguiente ecuación estequiométrica:



El calor producido por la oxidación o combustión del polvo de carbón, se determina por la fórmula de Dulong en la bomba calorimétrica, que permite obtener valores con una aproximación del 2%.

La ecuación de Dulong es la siguiente:

$$Q = 8.080C + 34.460H - 1/8 O + 2.250 S$$

Q = en Kcal/kg

Donde C, H, O y S es igual al % en peso de carbón, contenidos en un kg de carbón, calculado por el método de análisis químico.<sup>(1)</sup> En el cuadro 4.3 se da las diferentes capacidades caloríficas de los diversos carbones.

CUADRO 4.3

CAPACIDAD CALORIFICA DE LOS CARBONES

CARBON	HUMEDAD	PODER CALORIFICO Kcal/Kg
Antracita	2.3 - 2.2	6955 - 7683
Semiantracita	3.4 - 3.2	7289 - 7433
Semi-bituminoso	2.4 - 2.0	7617 - 8228
Bituminoso	14.2 - 1.6	5767 - 8167
Sub-bituminoso	20.5 - 13.5	4828 - 6189
Lignito	43.5 - 32.6	3228 - 4089
Turba	90.3 - 54.7	283 - 2278

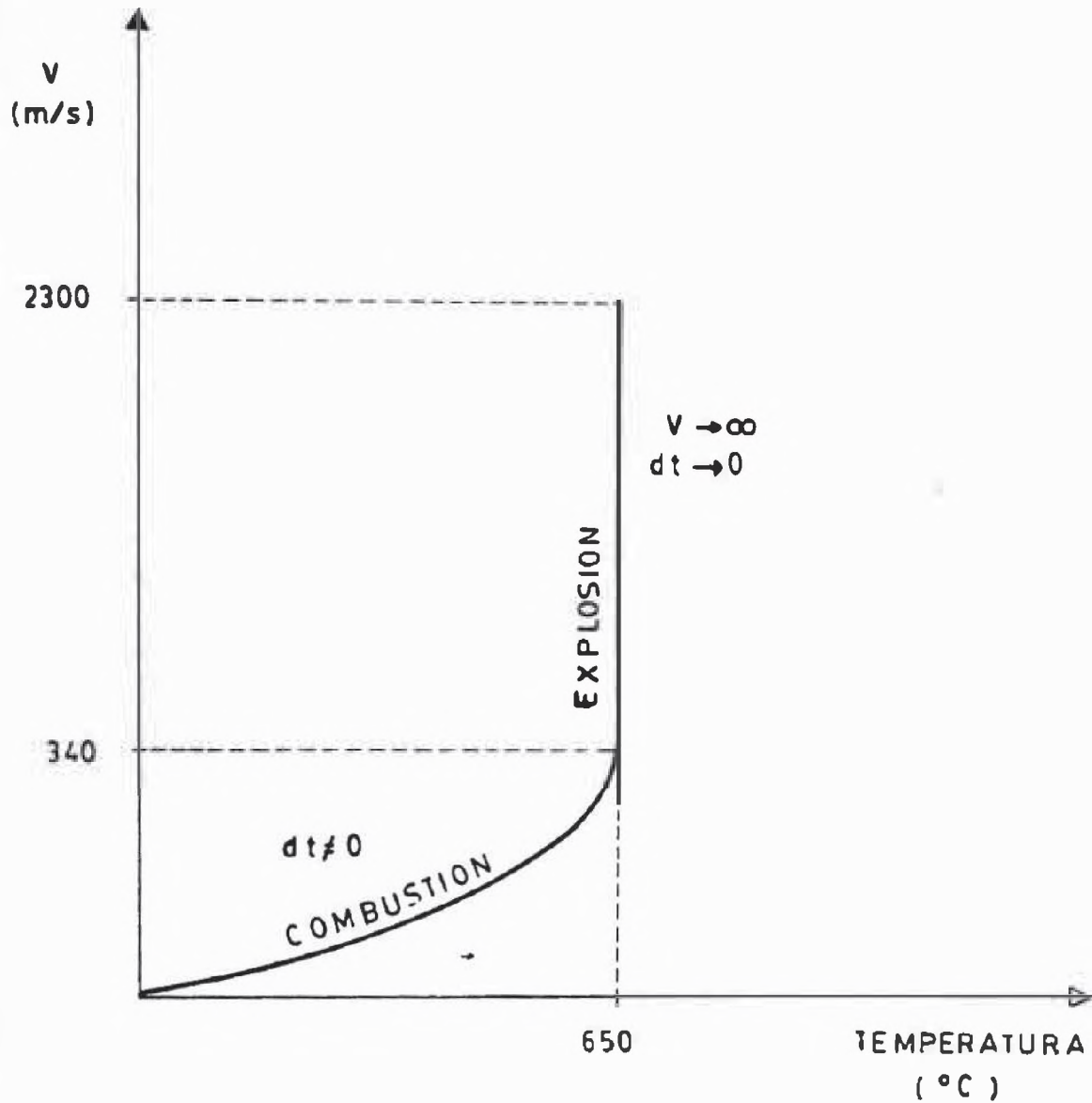
Fuente : National FIRE Proteccion Association 1980

(1) Ver bibliografía. Punto 9.6



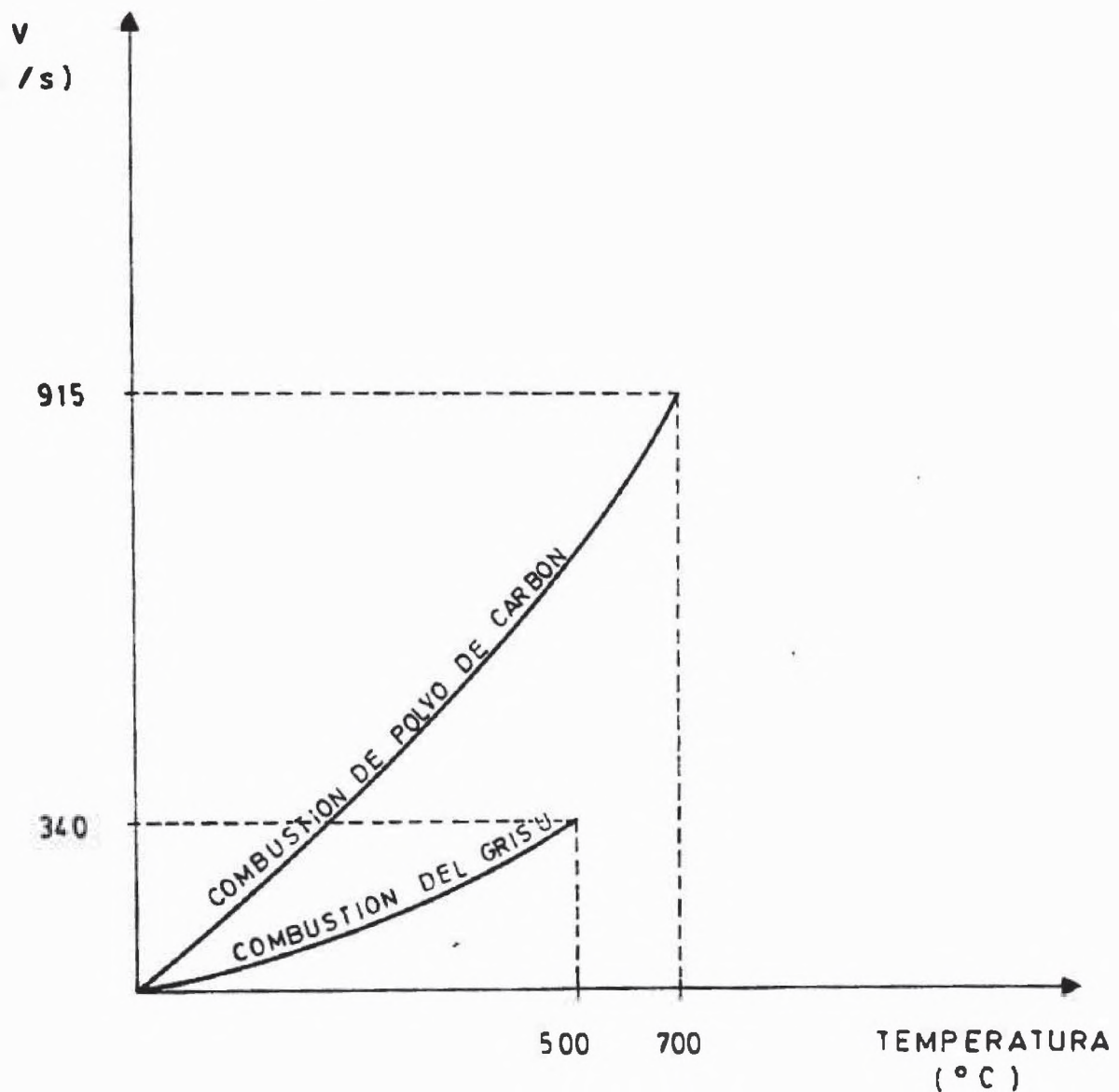
# GRAFICA DE CINETICA DE LAS REACCIONES

## Reacciones de Combustión con Explosión



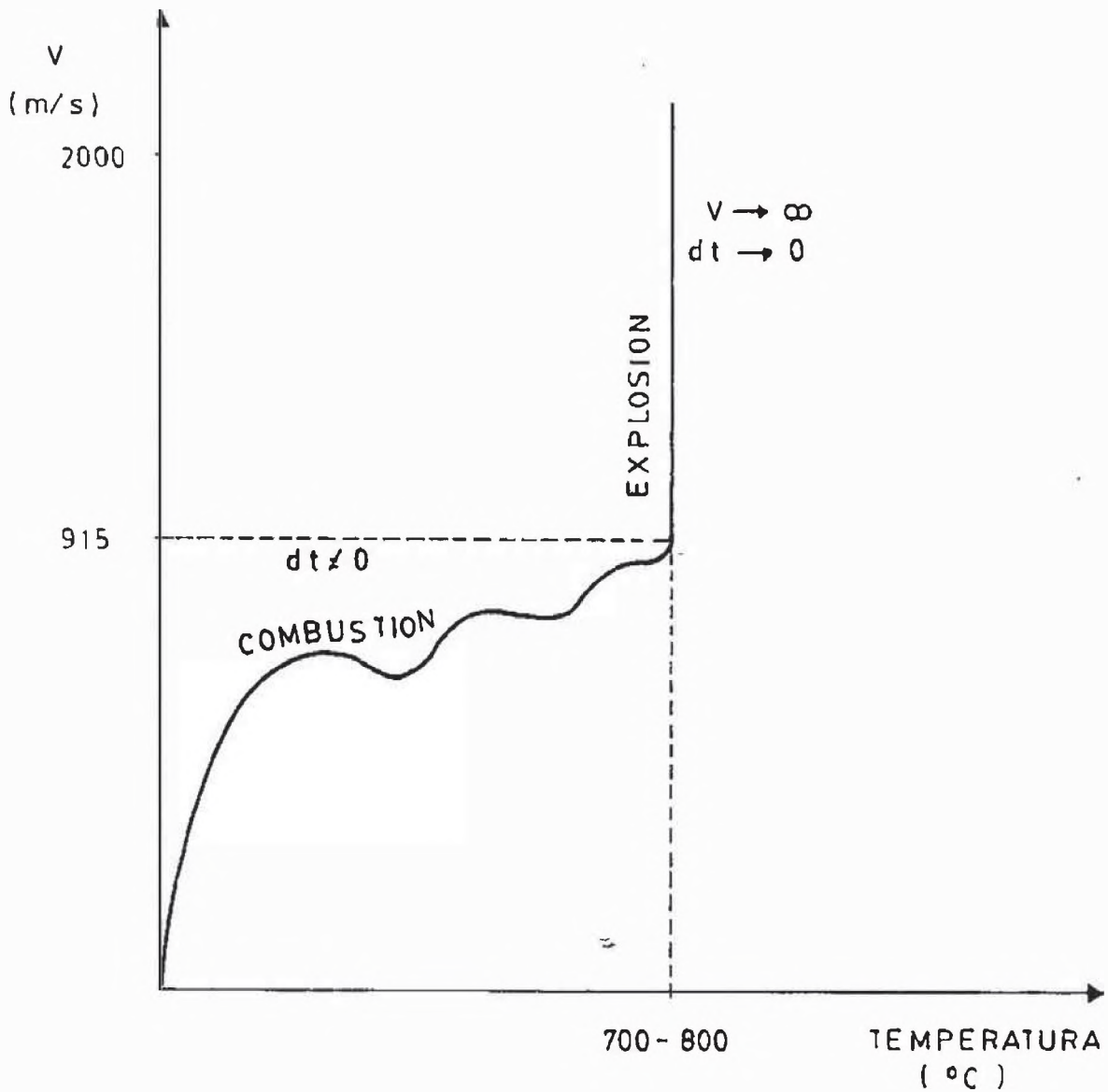
# GRAFICA DE CINETICA DE LAS REACCIONES

## Gráfica Comparativa



# GRAFICA DE CINETICA DE LAS REACCIONES

## Reaccion Heterogenea



### 4,3 Teoría de la Explosión

La explosión ha adquirido tantos matices en su significado que no puede ser empleada con la precisión exigida por los miembros de los grupos de científicos y profesionales de la ingeniería. Para comprender qué es una explosión, es mejor considerarla como un efecto o resultado de otro fenómeno. Con ejemplos se puede visualizar mejor, un recipiente contiene una mezcla inflamable de gas y aire; la mezcla entra en ignición y el aumento de presión resultante rompe el recipiente, se hablaría entonces de explosión. Sin embargo, si el mismo recipiente experimentara una presión debido al vapor de agua, por encima de sus límites de resistencia, se rompería con la misma facilidad.

Por lo tanto, en un sentido más amplio, la explosión es un efecto producido por una expansión violenta y rápida de gases.

Este proceso de transformación rápida y/o química de un sistema de energía mecánica, acompañada por un cambio de su energía potencial puede ir también acompañado de una onda expansiva y de la destrucción de los materiales o estructuras que lo encierran.<sup>(1)</sup>

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

Las explosiones pueden producirse a partir de:

1) Cambios químicos

La combustión de una mezcla de aire y gas inflamable, la detonación de un explosivo.

2) Cambios físicos o mecánicos.

Como la rotura de una caldera.

3) Cambios atómicos.

El esfuerzo mecánico realizado durante la explosión se debe a la rápida expansión de los gases, siendo indiferente el que estos gases existan - previamente o que se formen durante el proceso explosivo.

### Deflagración y Detonación

Estos términos están íntimamente relacionados con término explosión, aunque ninguno de los dos fenómenos, según el significado que damos a estas palabras, participe en la explosión.

Por ejemplo, la explosión de un recipiente debido a una presión de vapor superior a sus límites de resistencia, o la explosión de un cilindro de gas, a causa de que sus paredes se han debilitado por la corrosión, no tiene nada que ver con la deflagración o la detonación, aunque incorrectamente, es muy frecuente el empleo indiferenciado de los términos de detonación y explosión.

### Deflagración

Se llama deflagración a una reacción exotérmica que se propaga a través de los gases ardientes por conducción, convección y radiación, a un material que todavía no ha entrado en reacción. En este proceso, la zona de combustión avanza a través de la materia a una velocidad inferior a la del sonido (menor que: 340 m/s) dentro de los materiales sin reaccionar.

### Detonación

La detonación es una reacción exotérmica caracterizada por la presencia de ondas de choque en el material que establece y mantiene la reacción. Una característica diferenciada estriba en que la zona de reacción se propaga a una velocidad mayor que la del sonido (mayor que: 340 m/s) -- dentro del material sin reaccionar.

### Explosiones por deflagración o detonación de gases

Según las definiciones, si un recipiente contiene una mezcla de aire y vapor inflamable y si se produjera la ignición de esta mezcla con el consiguiente aumento de la presión que da como resultado la ruptura del envase, podemos afirmar

inequívocamente que existe una explosión. Si el recipiente no se rompiese, sino que debido a su alta resistencia, contuviera la deflagración o detonación, no habría explosión porque el criterio de esfuerzo mecánico no se habría cumplido.

Las mezclas de vapor y aire tienen límites tanto de inflamabilidad (deflagración) como la detonabilidad; estos definen los márgenes de la relación combustible oxidante, dentro de los cuales las mezclas pueden quemarse o detonar. Los límites de detonabilidad dependen del estímulo de iniciación y del medio ambiente.

Las deflagraciones de las mezclas estequiométricas de aire-gas producen presiones máximas de aproximadamente de 8 veces la presión inicial en estado de reposo, este aumento de presión puede llegar a ser de 20 veces en los sistemas de oxígeno-combustible. Los términos límite de inflamabilidad, límite de deflagración y límite de explosión se usan con frecuencia, indistintamente.

### Explosiones por deflagración de polvos

La inflamación de polvos combustibles suspendidos en el aire es similar a la de las mezclas de aire y gas inflamable, con la excepción de que las mezclas de aire y polvo combustible que se encuentran normalmente no suelen detonar. En ciertos casos, tales como en las minas de carbón con túneles, prolongados y por lo tanto, con un elevado grado de confinamiento, se han producido detonaciones en nubes de polvo de carbón.

#### 4.3.1 Explosión por combustión

La explosión por combustión necesita la acumulación de una cierta cantidad de mezcla inflamable de gas y aire en un espacio cerrado.

El comportamiento peculiar del fuego en el interior, tanto si está ventilado como si carece totalmente de ventilación obliga a iniciar la lucha contra él antes de que las temperaturas del techo alcancen 650°C-750°C porque a dichas temperaturas los gases, en unión con las partículas de humo incandescente, reacciones para formar mezclas gaseosas potencialmente explosivas. En ciertas proporciones de gas y aire (los márgenes de inflamabilidad o combustibilidad) la mezcla es inflamable y arderá.



Todos los materiales se dilatan cuando absorben calor. La materia que más se expande en la cercanía de una llama o de los productos gaseosos de la combustión a altas temperaturas es el aire, se dilata al doble de su volumen inicial por cada 255°C de aumento de temperatura.

Si el aire caliente no puede expandirse debido, por ejemplo a estar encerrado o en espacio confinado, el resultado es el aumento de presión en el interior del mismo.

A temperaturas superiores a los 650°C, el CO<sub>2</sub> reacciona con el carbono libre incandescente (presentes en los humos) para producir CO a doble velocidad de la que se consume el CO<sub>2</sub>, a 800°C, esta reacción es prácticamente completa. A temperaturas superiores a los 1000°C, la reacción agua-gas prevalece y el carbono incandescente reacciona con el vapor de agua para producir aún mayor cantidad de monóxido de carbono, con liberación de hidrógeno,



De este modo se liberan mayores volúmenes de gases de los que se consumen. Este ritmo acelerado se aumenta todavía más por las crecientes temperaturas, y el peligro sigue aumentando debido

a los amplísimos márgenes de inflamabilidad del monóxido de carbono y del hidrógeno, (1)

#### 4.3.2 Explosión Térmica

Designa la descomposición o reacción exotérmica de un material inestable contenido en un espacio cerrado, a través de toda su masa, debido a auto calentamiento, el calor que libera aumenta la velocidad de reacción. El fenómeno del paso de la reacción a un estado no estacionario, a una aceleración progresiva de la reacción del material, ha recibido el nombre de explosión termica. (2)

#### 4.3.3 Explosión por Presión

Los peligros de explosión de los sistemas de alta presión surgen en gran parte debido a las fallas causadas por fugas, pulsación vibración y exceso de presión o sobre-presión. Los daños que puede esperarse que se produzcan por la liberación de gases a la alta presión si se rompe un recipiente o tuberías puede producirse lesiones mortales a causa del escape repentino de los

---

(1) y(2) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

gases a alta presión, ejemplo, calderas, balones de gas, etc.<sup>(1)</sup>

#### 4.3.4 Causas de explosión en las Minas de Carbón.

Las investigaciones de los desastres producidos por las explosiones, permite precisar que no solamente se debe al gas grisú o al polvo de carbón sino además a la negligencia, ignorancia de las personas encargadas no sólo de la seguridad, sino también de la explotación de la mina.

Las explosiones en minas de carbón se originan por lo general con la ignición del gas metano y/o polvo de carbón en concentraciones que se encuentran dentro de los límites de explosividad.<sup>(2)</sup>

#### Causas de explosión del gas Grisú

El metano es uno de los agentes químicos más peligrosos en el ambiente de la mina, debido a su propiedad de formar mezclas explosivas con el aire.<sup>(3)</sup>

Las causas más conocidas son las siguientes:

a) Las explosiones de grisú pueden producirse en muchos casos por imprudencia de los traba-

---

(1), (2) y (3) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

- jadores mineros, que a veces encienden una cerilla o abren una lámpara de seguridad.
- b) El uso de la llama abierta, puede originar explosiones en la mina o sección de ella, en que el grisú es ignorado y se permite el empleo de lámparas abiertas.
  - c) En la mayoría de los casos han sido las lámparas de seguridad las causas originarias de las explosiones de grisú. Cierta seguridad se consigue cuando las lámparas no tiene defectos y están a cargo de mineros experimentados.
  - d) Un gran porcentaje de las causas originarias de explosiones de grisú corresponde a los trabajos con explosivos.
  - e) Los incendios en el interior puede causar explosiones, siempre que el carbón presente tendencia al autocalentamiento.

Son más peligrosos cuando por el calentamiento del carbón éste destila, desprendiéndose gases combustibles, especialmente hidrógeno e hidrocarburos pesados. entre ellos el etileno; estos gases combustibles tienen ocasión de mezclarse con el aire y son impulsados por la corriente de ventilación hacia el foco del incendio, pue-

den inflamarse fácilmente,

- f) Las chispas pueden ser causa ,si bien poco-frecuente, de explosiones de grisú. Cuando rocas duras chocan entre sí, se desprenden chispas, como también cuando se golpea con herramienta de acero sobre dicha roca, ejemplo: perforadoras, picos, salida de máquinas etc.
- g) Desprendimiento de chispas producido por hundimiento de capas de rocas duras pueda producir una explosión de grisú.
- h) Las causas de explosiones de grisú pueden ser también las chispas eléctricas, las chispas pueden aparecer en máquinas de trabajos eléctricos, en las conducciones, interruptores, en los fusibles y algunas veces también en los aparatos utilizados para la pega eléctrica.
- i) La electricidad estática, por ejemplo, la salida de aire comprimido que contiene polvo de boquillas aislantes, puedan producir chispas con el peligro de inflamación.
- j) Los filamentos incandescentes de las lámparas eléctricas, en caso de rotura, pueden ser también peligrosas, las lámparas de arco son en todo caso.

#### 4.3.5 Explosión en las minas de carbón

Las explosiones de polvo de carbón, que en otros tiempos fueron frecuentes, por ejemplo en el período de 1903-1926 se produjeron en Alemania 57 explosiones que causaron 483 muertos, un promedio de 8-9 muertos por explosión sin considerar las más catastróficas que resultan ser centenas. Han bajado notablemente de la introducción del método del polvo de roca y explosivos de seguridad, en los últimos años sólo se han producido originado por la llama de un aparato de soldar. En cambio, de las 94 explosiones del gas grisú ocurridas en Alemania entre los años 1930-1951, muchas fueron seguidas de grandes explosiones de polvo de carbón. Se producen un promedio de 4-5 explosiones por año. <sup>(1)</sup>

#### Explosión de gas Grisú

Es un gas incoloro e inodoro, es dos veces más liviano que el aire, debido a esta propiedad se concentra en las partes superiores de las labores mineras en atmósfera tranquila, forma mezclas explosivas con el aire, estas mezclas tienen dos límites de explosividad: de 5-15% es decir, den-

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

tro de este margen se producen explosiones y fuera de estos límites se produce una combustión. (Ver C.4.4.)

CUADRO No. 4.4

PROPIEDADES MAS COMUNES DEL METANO

METANO ( GAS )	
CALORIAS/VOLUMEN	8971 a 9532 cal/m <sup>3</sup>
Límite de explosividad (% en volumen aire)	Inferior : 4.7 a 5.0% Superior : 14 - 15%
Densidad relativa (aire = 1 )	0.59 a 0.61
Cantidad de aire por 1 m <sup>3</sup> de CH <sub>4</sub>	10.2
Temperatura de Ignición	482 - 632°C

Fuente : National Fire Protection Association  
1980.

## a) Explosividad de mezclas aire-Metano

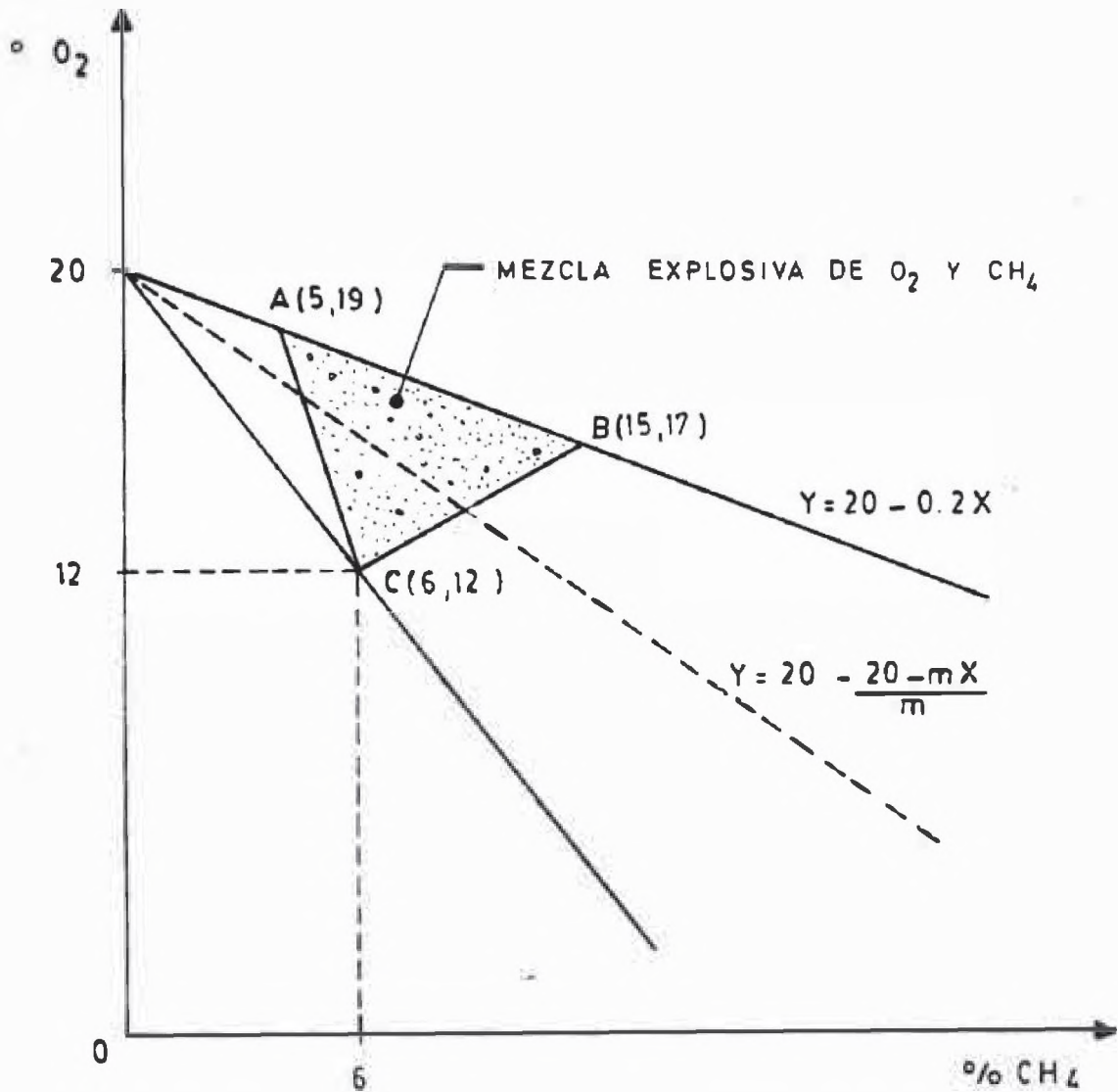
Con fines prácticos, se ha establecido para la mezcla explosiva, oxígeno del aire y metano que la variación porcentual de los componentes, se efectúa según la ecuación :

$$y = 20.0 - 0.2 x$$

En donde "y" es el contenido en % de oxígeno del aire, en la atmósfera de la mina y la abscisa "x" de metano. Como se puede apreciar en la gráfica No. 4.8, página 187.



GRAFICA DE LA EXPLOSIVIDAD DE LAS MEZCLAS

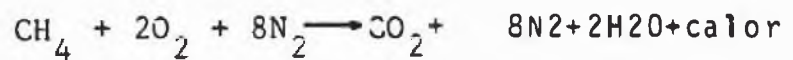


En la gráfica, se observa los límites de explosividad del metano; A(5,19), inferior y B(15,17), superior; también experiencias realizadas demuestran que el C(6,12), puede formar mezcla explosiva.

Por lo tanto, habrá mezcla explosiva aire-metano en las proporciones que estén dentro del triángulo ABC. Este concepto se debe tener muy en cuenta en determinadas condiciones de temperatura y presión, se produce explosión o incendio.

b) Reacciones químicas durante la explosión.

Si previamente se ha mezclado el grisú con aire atmosférico, la mezcla puede producir una explosión. La combustión y la explosión se desarrollan en el supuesto caso, en condiciones normales de presión, según la siguiente fórmula:



Un volumen de metano, necesita dos volúmenes de oxígeno y 10 volúmenes de aire atmosférico, para empezar la combustión del metano presente. En este caso es cuando la explosión es más enérgica. Haciendo un cálculo más preciso, se llega a que la mezcla más favorable

para la explosión contiene aproximadamente 9.0-9.5% de metano y 90.5-91% de aire.

Si el contenido de metano es mayor, se forma el monóxido de carbono CO ( $\text{CH}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ) y una parte del grisú no llega a arder, - cuando es menor, queda un sobrante de oxígeno o de aire atmosférico.

Debido a ello, resulta la explosión más débil.

c) Temperatura de la explosión, volumen y presión de los gases de la explosión.

La temperatura que se desarrolla durante la - explosión de una mezcla de aire y grisú osci- la como ya hemos indicado, según las propor- ciones de la mezcla.

En la mezcla explosiva más favorable, la tem- peratura de la llama llega a  $2650^\circ\text{C}$  y atmós- feras de presión, con concentración de 5-14%, sin embargo, sólo llega a unos  $1500^\circ\text{C}$ .

En el momento de la explosión el agua forma- da está en estado de vapor o de gas. Según - la fórmula en b) de 11 partes en volumen que entran en la explosión, se forman otra vez 11 volúmenes. Como los gases que se producen tie- nen en el primer momento la temperatura de -  $2650^\circ\text{C}$ , estarían los volúmenes, antes y des -

pués de la explosión, la relación de temperaturas es de 15-2650°C.

Los gases ocuparán, un volumen diez veces mayor que el original.

Sin embargo, la elevada temperatura de explosión no se mantiene mucho tiempo. Al mezclarse con el restante aire más frío y por contacto con las paredes de las galerías y otros objetos, los gases se enfrían inmediatamente casi hasta la temperatura normal de la mina.

Por lo general, en la mina, la sobrepresión - que se produce por la explosión es aún menor, puesto que los gases tienen ocasión de expandirse.

d) Velocidad de detonación.

La velocidad de propagación de la explosión - es muy baja, según ensayos que se han ejecutado en tubos y asciende solamente de 0.2-0.6 m/s. Sin embargo, suele ser mayor cuando la mezcla de gas está en movimiento y crece considerablemente, superando la velocidad del sonido de 340 m/s, si en el lugar de la explosión se produjo una elevación de presión, de modo que la explosión se propague bajo presión. Esto puede suceder fácilmente en la mina.

Una explosión, pequeña al principio, empuja los gases hacia delante y los comprime en un punto. La llama que sigue enciende los gases comprimidos, que explotan con gran violencia, en forma parecida a los explosivos. Muchas explosiones de grisú no tienen más - que escaso efecto mecánico y éste puede ser débil también, incluso en grandes explosio - nes en algunos puntos. No obstante, algunas veces la demostración de fuerza mecánica de la explosión es enorme, no sólo son derivados los vagones, sino aplastados o son levantadas las vías; tales efectos son posibles con una velocidad de detonación extraordinariamente grande.

La explosión origina dos ondas, la primaria y la inversa, tienen los mismos efectos mecánicos. Después de la explosión, la atmósfera presenta una mínima cantidad de oxígeno. <sup>(1)</sup>

En los casos de incendio, cualquier concentración de metano mayor que el límite superior de explosividad es capaz de originar una explosión.

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

e) Calor generado por la explosión.

Con la mezcla explosiva de 9,0-9.5% de metano y 90.5-91% de oxígeno, se logra la explosión más fuerte; el metano al quemarse a CO<sub>2</sub> de acuerdo a la siguiente ecuación:



produce 13,000 Kcal/kg de CH<sub>4</sub> y cuando la proporción de metano es mayor, la carencia de oxígeno para quemar todo el metano puede originar cantidades de monóxido de carbono (CO).

Hidrógeno, se produce una explosión por combustión incompleta, de acuerdo a la siguiente ecuación:



produce 9,495 Kcal/m<sup>3</sup> de metano.

La cantidad de calor liberada, produce quemaduras, asfixia en los trabajadores, resultan fatales.

#### Explosión de polvo de carbón

La inflamación del polvo presenta diversas formas, se distingue la llamarada de polvo y la explosión.

La llamarada es la propagación de una llama a través de una nube pulverulenta producida con anterioridad.

En la explosión de polvo, por el contrario, la polvareda es provocada por el empuje del aire que precede a la llama y que resulta de la elevación de presión que acompaña a la combustión. La explosión puede producirse en grandes longitudes. Es la continuación normal de una llamarada de polvo que nada detiene y que a su vez puede haber sido producida por una llama de grisú. (1)

a) Explosividad del polvo de carbón.

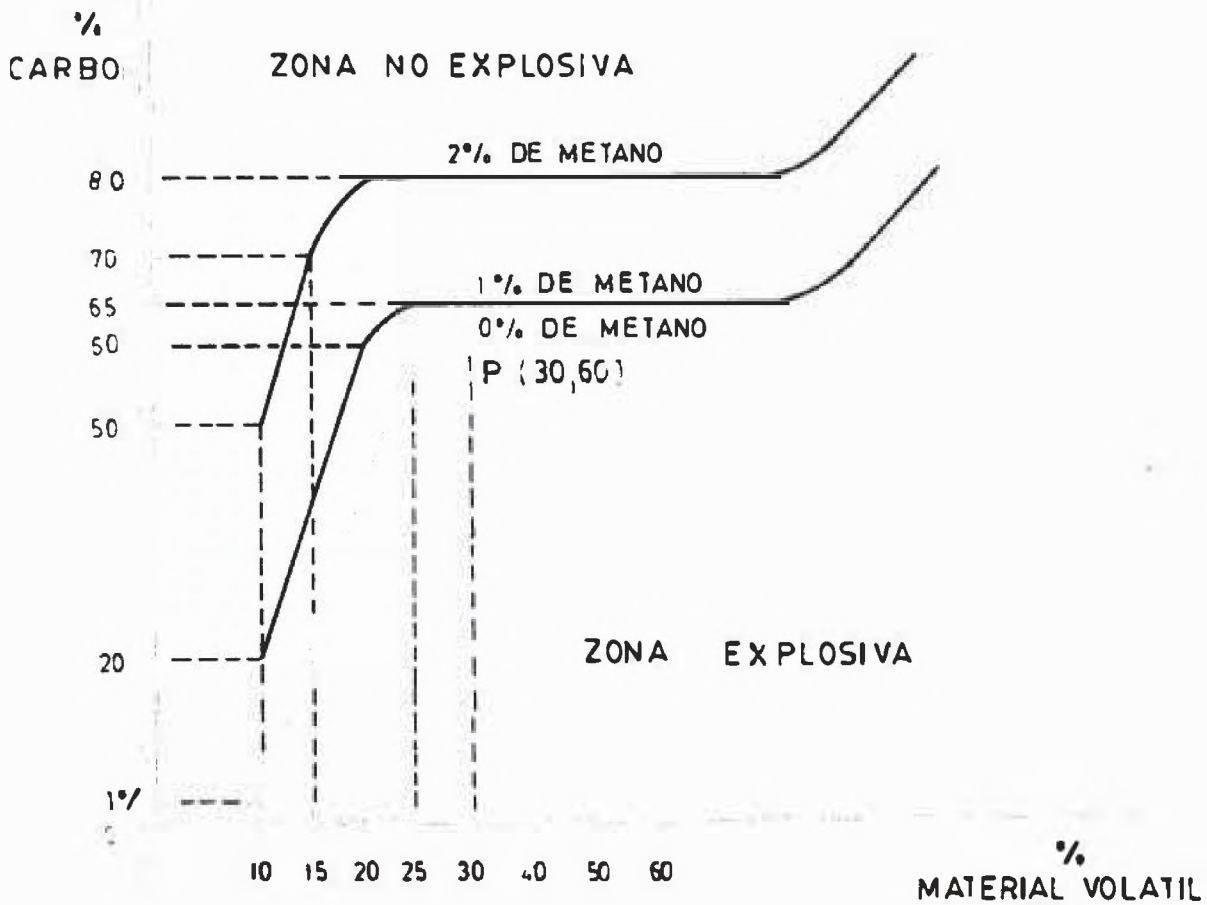
En una mezcla de aire y polvo de carbón existe un límite inferior de explosividad o concentración de polvo de carbón, es de 70-100 gr/m<sup>3</sup>. de aire y un límite superior mayor a 400 gr/m<sup>3</sup> de aire. Cuando la inflamación del polvo ha sido provocada por una explosión de grisú o por explosivos (carga de dinamitas), sólo la existencia de 23 gr/m<sup>3</sup> de aire de polvo muy fino es capaz de propagar una explosión. Disminuye su límite de explosividad, además, por cada 1% de contenido de metano, en 15-20 gr/m<sup>3</sup> de aire.

Los factores que influyen sobre el grado de explosividad del polvo de carbón son: la temperatura de ignición del polvo fino y seco, es de 700-800°C , las fuentes que encienden al metano, puede encender al polvo de carbón. La distribución del tamaño de partículas menores a 830 micras y en algunos casos mayores, pueden intervenir en la explosión, pero las partículas más finas menores de 100 micras, son las que tienen influencia sobre la ignición, violencia y velocidad de propagación de la explosión. Con la disminución de tamaño de partículas hasta 10 micras, aumenta la explosividad, pero tamaños más pequeños, las partículas se oxidan rápidamente y tienden a aglomerarse, disminuyendo la explosividad. Otro factor importante es el contenido de combustible volátil del carbón en relación con su edad y tipo, tiene efectos sobre la explosividad de polvo: ésta aumenta con el incremento de materias volátiles en el carbón. (1).

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.



GRAFICA DE LA VARIACION DE MATERIALES VOLATILES



La explosividad del polvo aumenta en forma lineal con el contenido de material volátil hasta 25%, a partir de este valor, el aumento es mucho menor, éste efecto se observa en el gráfico.4.9, pág. 195.

Las explosiones pueden producirse con sólo 10% de volátiles, aunque la explosión es débil, debe considerarse verdaderamente explosivos los polvos de carbón que contienen más del 15% de materiales volátiles.

Es muy importante el contenido de cenizas y humedad del carbón, el aumento de estos constituyentes determina una reducción de la explosividad del polvo de carbón. El contenido de cenizas mínimo requerido para que el polvo deje de ser explosivo es de 50-60% y aumenta su explosividad en un 8-10% por cada 1% de contenido de metano.

La distribución del polvo en la mina, puede estar presente en todas las superficies en cantidades suficientes para propagar una explosión. El polvo asentado en los costados, techos y enmaderados es usualmente más fino que del piso, por lo tanto es más peligroso y su concentración debe ser menor.

La temperatura, energía y tamaño de la fuente de ignición con relación a la nube de polvo, son factores importantes, las explosiones iniciadas por fuente fuerte se desarrollan más rápidamente, causan más daño, más víctimas y son difíciles de controlar y otros factores - son la rugosidad de la labor y cambio de sección, estas irregularidades tienen mucha influencia sobre la explosión, una combustión - tranquila puede convertirse instantáneamente en fuerte explosión, si en el curso de la llama se encuentra un obstáculo.

b) Medida del riesgo de explosiones.

La oficina de Minas de EE.UU., ha establecido basado en los ensayos, una medición - muy útil para riesgos de explosiones, que son las siguientes:

La Sensibilidad a la Ignición

La sensibilidad es función directa de la temperatura de ignición y de la energía mínima necesaria para la ignición.

Está definida de la siguiente manera:

$$S_i = T_i \times E_m \times C_m$$

donde:

$S_i$  = Sensibilidad a la ignición

$T_i$  = Temperatura de ignición

$E_m$  = Energía mínima

$C_m$  = Concentración mínima de polvo de carbón

#### GRAVEDAD DE LA EXPLOSION

Viene determinada por la expresión máxima de explosión y por máxima velocidad del incremento de la presión.

Está definida por la siguiente igualdad :

$$G_e = P_{m.e} \times V_{p.c}$$

donde:

$G_e$  = Gravedad de la explosión

$P_{m.e}$  = Presión máxima de explosión

$V_{p.c}$  = Máxima velocidad del incremento de presión de polvo de carbón.

#### Indice de Explosividad

Es el producto de la sensibilidad a la ignición por la gravedad de la explosión.

$$I_e = S_i \times G_e$$

donde ;

$I_e$  = Indice de explosividad

$S_i$  = Sensibilidad a la ignición

$G_e$  = Gravedad de explosión

Este método permite clasificar los riesgos relativos al polvo de carbón, se puede apreciar en el Cuadro 4.5.

CUADRO No. 4.5

TIPOS DE EXPLOSIONES PRODUCIDAS POR EL POLVO  
DE CARBON

Ti <sup>o</sup> s de Explosión	Sensibilidad a la Ignición	Gravedad de explosión.	Indice de Ex <sup>o</sup> plosividad
Débil	< 0.2	< 0.5	≈ 0.1
Moderado	0.2 - 1.0	0.5 - 1.0	0.1 - 1.0
Fuerte	1.0 - 5.0	1.0 - 2.0	1.0 - 10
Muy fuerte	> 5.0	> 2.0	> 10

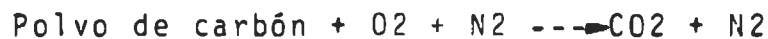
Fuente : National Fire Protection Association, 1980

c) Características explosivas de los Polvos de Carbón.

Numerosos estudios realizados por varios investigadores muestran las características explosivas de una variedad de polvos de carbón. Ver Cuadro 4.6. pág. 201.

d) Reacciones químicas durante la explosión.

La cantidad de polvo fino de carbón necesaria para quemar todo el oxígeno del aire a condiciones normales es de 123 grs. de polvo por m<sup>3</sup>. de aire y se produce la siguiente reacción:



Pero en una explosión violenta, la presión alcanza 8 atmósferas, por lo que se necesitaría  $8 \times 123 = 984$  grs. de polvo fino por m<sup>3</sup>. de aire para consumir todo el oxígeno.

Es muy difícil obtener concentraciones de polvo fino que alcance este valor; como consecuencia se producirá una combustión incompleta, con la producción de grandes cantidades de monóxido de carbono (aproximadamente de 3.2-10%).

CUADRO N° 4.6

CARACTERISTICAS EXPLOSIVAS DE POLVOS CARBONOSOS

Tipo de Polvo Carbón	Indice de Explosividad	Sensibi. a la Ignición	Gravedad de la Explosión	Presión. Máx. de Explos. lb/pul <sup>2</sup>	Veloc. Máx. de aumento presión lb/pul	Temperat. Ignición		Energ. Mínima Ignición nube (julios)	Conc. Mínima para kg/m <sup>3</sup>
						Inf. °C	Sup. °C		
Antracita	0.1	0.1	-	-	-	-	730	0.100	0.065
Bituminoso	4.1	2.2	1.8	101	4000	180	610	0.030	0.050
Lignito	>10	5.0	3.8	94	8000	200	450	0.030	0.030
Sub-bituminoso	1.0	1.0	1.0	90	2300	170	610	0.060	0.055

Fuente: National Fire Protection Association, 1980.

La reacción química es:



e) Velocidad de la explosión

La velocidad de la explosión depende esencialmente de la magnitud de la superficie del polvo de carbón, que a su vez está determinada por la finura de las partículas, ya que el polvo muy fino se gasifica más rápido y toma parte antes, en la explosión.

La velocidad puede alcanzar 915 m/s, y aún más si existe algún contenido de metano (2000 m/s). (1)

f) Calor producido por la explosión de polvo de carbón.

En la explosión se realizan simultáneamente la combustión completa e incompleta.

El calor producido, durante la combustión completa es: 8140 Kcal/kg de polvo de carbón.

Pero cuando la combustión es incompleta, con producción de CO, es 2440 Kcal/kg de polvo de carbón.

(1). Ver Bibliografía. Punto 9.6.



#### 4.4 Propagación del Incendio y Explosión

La propagación del fuego en horizontal y vertical depende principalmente de la disposición de estas superficies combustibles en las galerías, pozos y en los espacios libres longitudinales y/o transversales.

La velocidad de propagación de la inflamación varía mucho, influyendo en ella no sólo el estado de reposo o agitación de la mezcla, sino también la temperatura de ésta, la proximidad de cuerpos sólidos fríos, combustibles o no y la presión de la misma mezcla. (1)

#### Propagación del Incendio y Explosión del Gas Grisú.

La propagación de la inflamación del gas grisú se realiza a través de los materiales sin reaccionar.

- a) Con menos del 6% de CH<sub>4</sub> no existe propagación. El metano quemá simplemente al contacto de la llama.
- b) Por encima del 6% en atmósfera de la mina en calma y en volumen limitado se produce una lenta deflagración y

(1). Ver Bibliografía. Punto 9.6.

C) Por encima del 6% y en atmósfera de la mina agitada con volūmen variable la deflagración se acelera.

Por otra parte, la combustión, al desprender calor, tiende a dilatar los gases quemados. De ello resulta un empuje de aire potente que origina una velocidad de la llama con valores muy superiores a velocidad de 20 m/s.

La velocidad reducida se produce en una sección pequeña y en una atmósfera en calma. Por el contrario, en una galería y en una atmósfera turbulenta la llama ocupa una sección recta, si no que tendrá una superficie total más elevada, tiende a repartirse en el aire grisutoso según las direcciones. (1)

Para estas condiciones tenemos las siguientes relaciones, válidas en minas experimentales.

$$v = s \times a, \quad V = S \times a, \quad \bar{V} = \frac{V}{s} = \frac{S \times a}{s}$$

En atmósfera  
en calma.

En atmósfera  
turbulenta.

Sea  $s$  una sección recta de la galería.

Sea  $S$  la superficie de la llama.

Sea  $a$  la velocidad en atmósfera en calma.

Sea  $V$  volūmen del gas quemado en atmósfera turbulenta.

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6

Sea  $v$  volumen del gas quemado en atmósfera en calma.

$\bar{V}$  velocidad media de avance de la combustión en una galería.

Siempre:  $S/s > 1$

La velocidad de propagación varía desde 0.38 m/s a 0.60 m/s en atmósfera en calma y en una atmósfera agitada o movida puede alcanzar hasta 330 m/s.

La velocidad de detonación del grisú alcanza hasta 2300 m/s.

#### Propagación de la Explosión del polvo de carbón

Al propagarse la explosión, se levanta el polvo asentado en el piso, paredes, enmaderados y entra también en combustión.

La propagación se efectúa de la siguiente manera:

- a) La propagación se efectúa por franjas, la que está en combustión trasmite, esencialmente - por radiación, su calor a la siguiente;
- b) Bajo la acción de la radiación, los granos de carbón se calientan, destilan y se inflaman;

Las velocidades alcanzadas en explosiones están comprendidas entre 915-2000 m/s.

Las explosiones producidas en diversas galerías, en condiciones que oscilan entre las nubes de polvo de alta turbulencia y las de un polvo prácticamente en reposo.

Para una velocidad de propagación de la llama constante de un polvo de carbón suspendida en la atmósfera de la mina, es válida la siguiente relación, en minas experimentales.

$$\frac{R1}{R2} = \left( \frac{V2}{V1} \right)^{1/3} \frac{A1}{A2}$$

R1 Velocidad de aumento de la presión en una galería grande, en kg/cm<sup>2</sup>/seg.

R2 Velocidad de aumento de presión en una galería pequeña, en kg/cm<sup>2</sup>/seg.

V1 Volumen de la galería grande en m<sup>3</sup>.

V2 Volumen de la galería pequeña en m<sup>3</sup>.

A1 Proporción de la superficie de ventilación de la galería grande en m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> de volumen de aire.

A2 Proporción de superficie de ventilación de la galería pequeña, en m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> de volumen de aire.

Los valores obtenidos con esta fórmula, para galerías pequeñas pueden extrapolarse para galerías con cierto grado de confianza, aunque debe tenerse cuidado de mantener la equivalencia de la forma de galerías grandes y pequeñas. (1)

---

(1). Ver Bibliografía. Punto 9.6.

#### 4.4.1 Propagación Horizontal.

La propagación horizontal de la combustión y expl<sup>o</sup>sión de gas grisú y de polvo de carbón, está condicionado a la distribución del gas o el polvo en la atmósfera de la mina, también depende del buzamiento de las galerías y la dirección - de la ventilación (entrada y salida) del aire atmosférico, las condiciones de temperatura y prevención. (1) Ver en la gráfica 4.10, página 208, las diversas formas de propagarse horizontalmente en lo referido arriba, es decir del gas grisú y polvo de carbón.

---

(1) Ver Bibliografía punto 9.6

a) INCENDIO Y EXPLOSION DEL GAS GRISU



COMBUSTION DE  
GRISU EN ATMOSFERA  
CALMA

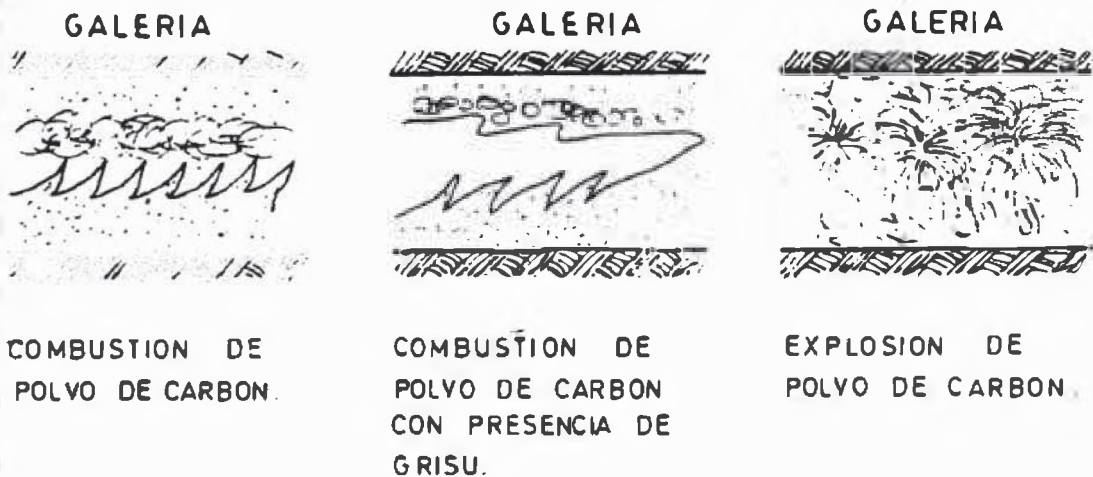
COMBUSTION DE  
GRISU EN ATMOSFERA  
TURBULENTA

EXPLOSION DE  
GRISU.

s = SECCION DE LA GALERIA

S = SUPERFICIE DE LA LLAMA

b) COMBUSTION Y EXPLOSION DEL POLVO DE CARBON



COMBUSTION DE  
POLVO DE CARBON.

COMBUSTION DE  
POLVO DE CARBON  
CON PRESENCIA DE  
GRISU.

EXPLOSION DE  
POLVO DE CARBON.

#### 4.4.2 Propagación Vertical.

La propagación vertical, se presenta mayormente en los pozos, chimeneas, en las rampas y en toda explotación vertical subterráneas de las minas de carbón, en direcciones de la ventilación entrada y salida del aire atmosférico (1). Se puede apreciar en la gráfica 4.11, página 210 la forma como se propaga verticalmente la combustión y explosión, en lo que se refiere al gas grisú y la del polvo de carbón.

(1) Ver bibliografía en punto 4.6

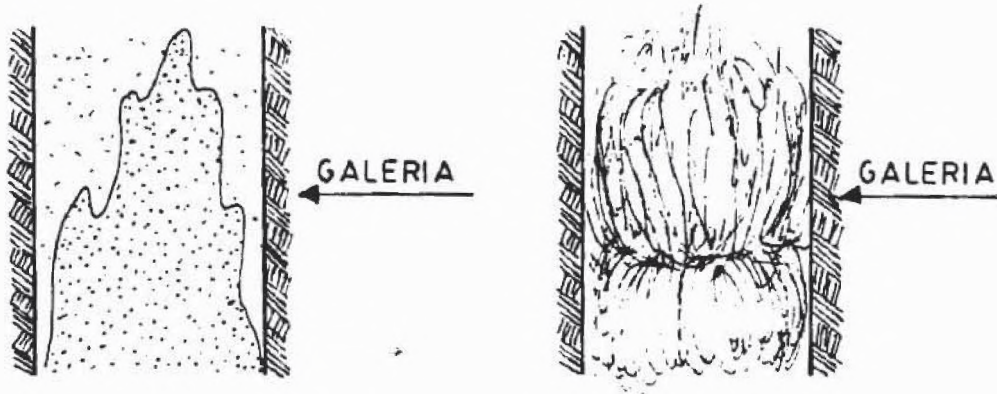
a) COMBUSTION Y EXPLOSION DEL GAS GRISU



COMBUSTION DE GRISU

EXPLOSION DE GRISU

b) COMBUSTION Y EXPLOSION DE POLVO DE CARBON



COMBUSTION DEL POLVO  
DE CARBON

EXPLOSION DEL POLVO  
DE CARBON



#### 4.4.3 Transferencia de calor.

El calor es una energía que se transmite por diferencia de temperaturas, cuando existe diferencia de temperatura, hay flujo de calor; si no hay cambio, no existe transferencia.

El calor se transmite por varios mecanismos que son: por conducción, convección y radiación. (1)

##### 4.4.3.1 Conducción.

La conducción de calor a través del aire u otros materiales se produce por el movimiento molecular.

La cantidad de calor transferido por conducción depende de la conductibilidad térmica del material y del área de contacto.

La transmisión del calor por conducción en la atmósfera de la mina es directamente proporcional a la presión del gas. No se realiza transferencia de calor en el vacío.

A presión atmosférica los sólidos son mejores conductores del calor que los gases. (2)

La fórmula general para calcular el flujo de calor:

$$Q = v \times A \times FD$$

---

(1) y (2). Ver Bibliografía. Punto 9.6.

$Q$  = flujo de calor

$A$  = área de la sección

$v$  = velocidad

$FD$  = fuerza directriz (diferencia de temperaturas).

#### 4.4.3.2 Convección.

El calor se transfiere a un medio circundante, gaseoso, sólido, etc.

El aire caliente se expande y se eleva y por esta razón la transferencia de calor por convección ocurre en sentido ascendente aunque puede conseguirse que las corrientes de aire transfieren el calor por convección en muchas direcciones. <sup>(1)</sup>

Con la siguiente fórmula puede calcularse el flujo de calor:

$$Q = h(T_f - T_s)$$

$T_f$  = temperatura medio del gas que se desplaza.

$T_s$  = temperatura de la superficie.

$h$  = coeficiente de transferencia de calor.

$A$  = área en la dirección positiva

$T_\infty$  = temperatura del gas.

Para expresar el efecto total de convección usamos la ley de Newton de enfriamiento:

$$Q = h A (T_s - T_\infty)$$

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

Aquí la razón de transferencia de calor está relacionada con la diferencia de temperatura total entre la pared y el gas y el área de la superficie A. (1)

#### 4.4.3.3 Radiación.

Se produce por la emisión de energía que se mueve a través del espacio o materiales en forma de ondas electromagnéticas por cuerpos calientes a temperaturas altas y a la velocidad de la luz. Al entrar en contacto con un cuerpo, éste las absorbe, las refleja o las trasmite. Por lo tanto, la calidad y cantidad de la radiación calorífica depende exclusivamente de la temperatura del cuerpo radiante y de las dimensiones de la superficie radiante. (2)

El flujo de calor se puede calcular por la siguiente fórmula:

$$Q = A \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

$\sigma$  = constante de Stefan-Boltzann  
(0.1714x10 BTU/h-pie°R)

---

(1) y (2) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

#### 4.4.3.4 Convección y Radiación combinadas

Cuando las transferencias por convección y radiación son del mismo orden de magnitud y ocurren simultáneamente, es muy complicado hacer análisis apropiado de la transferencia de calor considerando la interacción entre las dos formas de transferencia. (1)

$$h_{cr} = h_c + h_r \quad , \quad Q = Q_c + Q_r$$

$$Q = h_{cr} (T_p - T_d)$$

$h_{cr}$  = coeficiente de transferencia de calor por convección y radiación.

$T_p$  = temperatura de los productos calientes de la combustión a través de un ducto frío.

$T_d$  = temperatura de las paredes del ducto frío.

#### 4.4.4. Productos de combustión y explosión.

Los productos de combustión y explosión son similares, solamente hay una diferencia notable - por sus efectos mecánicos, violentos y destructores de una explosión.

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

Los gases y humos generados por un incendio son muy similares a los generados por una explosión. Los productos se pueden dividir en las siguientes categorías:

- a) Llama
- b) Calor
- c) Gases
- d) Humos y
- e) Efectos mecánicos de la explosión.

a) Llama

Es la manifestación de luz y calor perceptible al producirse la combustión del gas metano, del polvo de carbón o al producirse una explosión. Ocasiona quemaduras a los trabajadores.

b) Calor

Es la energía cinética de las partículas más pequeñas del grisú o polvo de carbón. Es el elemento principal y responsable de la propagación de los incendios y explosiones.

A intensidades superiores a la tolerancia humana es fatal y cuando son menores, los efectos producen deshidratación, agotamiento, dificulta la respiración, ocasiona quemaduras a los mineros.

## c) Gases

Generalmente los gases producidos son;

Monóxido de carbono	CO
Bióxido de carbono	CO <sub>2</sub>
Hidrógeno	H <sub>2</sub>
Nitrógeno	N <sub>2</sub>
Acido sulfihídrico	H <sub>2</sub> S
Oxido Nitroso	NO
Anhidrido Nitroso	NO <sub>2</sub>
Anhidrido Sulfuroso	SO <sub>2</sub>

## d) Humos

Residuo volátil de la combustión o explosión que contiene partículas y gases tóxicos.

Generalmente, son altamente irritantes para la vista y el tracto respiratorio, alterando las demás facultades.

## e) Efectos mecánicos de la explosión

Los efectos pueden ser graves o leves, dependen de la velocidad de detonación desarrollada por la explosión, que varía para explosiones del gas grisú y el polvo de carbón en un rango muy amplio entre 20-2000 m/s.

Los efectos más conocidos son: como sostenimientos destrozados, hundimientos, voladura de puertas y tapones, sistema de ventilación destrozadas, derrumbes, deformación de rieles carros, etc.

Las personas son elevadas, lanzadas, aplastadas, asfixiadas y quemadas.<sup>(1)</sup>

#### 4.4.4.1 Efectos Fisiológicos de los gases

Las proporciones de anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>), nitrógeno y oxígeno presentes en el ambiente minero son por lo general constantes. Al ocurrir un incendio o una explosión se elevarán los contenidos de monóxido de carbono (CO) y se reducirá el oxígeno debido a la rápida combustión de los materiales combustibles presentes, como: el gas grisú, el polvo de carbón y otros (como las piritas, etc.).

#### Deficiencia de Oxígeno (O<sub>2</sub>)

Cualquier reducción del contenido normal de oxígeno del aire se define como deficiencia de oxígeno. (Ver C-4.7).

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

Toda persona respira normalmente y se desempeña mejor en su trabajo, si el contenido de oxígeno en el aire es de aproximadamente 21% y nitrógeno 78%.

CUADRO N° 4.7

DEFICIENCIA DE OXIGENO

% O <sub>2</sub> presente	Efectos Fisiológicos
21.0	Respiración normal.
17.0	Respiración rápida y profunda.
15.0	Vértigos, zumbido de odios, pulso rápido, dolores de cabeza, visión borrosa, etc.
9.0	Desmayos, pérdida de conocimiento.
6.0	Convulsiones, paro respiratorio, paro cardíaco y la muerte. En contados minutos.

Fuente: Manual de Incendios y Explosiones en Minas  
 MPSSP-Instituto Nacional de Salud Ocupacio-  
 nal-OMS/Bol/3001. 1979



Oxígeno mínimo permitido en una mina es de 19.5% de acuerdo Ley General de Minería 1880, Reglamento de Bienestar y Seguridad Minera Art. 227.

### Monóxido de Carbono (CO)

El CO ejerce su acción tóxica por desplazamiento del oxígeno de la hemoglobina y formando carbo-monoxi-hemoglobina, reduciendo así la capacidad de la sangre, de transportar el oxígeno a los tejidos.

#### a) Síntomas de envenenamiento.

Los principales síntomas causados por el monóxido de carbono, para diferentes porcentajes de saturación en la sangre. (Ver C-4.8)

#### b) Efectos fisiológicos de monóxido de carbono.

La concentración máxima permisible y generalmente reconocida para una jornada de trabajo de 8 horas es de 0.005% (50 ppm de CO por volumen de aire). Concentraciones mayores de monóxido de carbono pueden considerarse permisibles para períodos muy cortos de exposición. Como se puede ver en el cuadro 4.9.

CUADRO N° 4.8

ENVENENAMIENTO POR MONOXIDO DE CARBONO

% de CO en la sangre	Síntomas
0 - 10	Ninguno
10 - 20	Tensión en la frente, posible dolor de cabeza.
20 - 30	Dolor de cabeza, palpitación en las sienes.
30 - 40	Fuerte dolor de cabeza, debilidad, vértigos, visión borrosa, náuseas y vómitos, colapso.
40 - 50	Síntomas anterior se intensifican, más posibilidad de colapso, el pulso y respiración aumentan.
50 - 60	Pérdida de conciencia, pulso y respiración alterados, coma con convulsiones intermitentes.
60 - 70	Coma con convulsiones intermitentes, acción respiratoria y cardíaca deprimidas.
70 - 80	Pulso débil y respiración lenta, paro cardíaco y muerte.

Fuente: Manual de Incendios y Explosiones en Minas. MPSSP

Inst. Nacional de Salud Ocupacional-OMS/Bol/3001-1979.

CUADRO N° 4.9

EFFECTOS FISIOLÓGICOS

Concentración %de CO	Tiempo Máximo de Exposición
0.01	Tiempo máximo de exposición por varias hrs.
0.04-0.05	Puede respirarse durante una hora sin efectos apreciables.
0.06-0.07	Efectos perceptibles después de una hora de exposición.
0.10-0.12	Efectos desagradables pero no peligrosos después de una hora de exposición.
0.15-0.20	Peligros para exposición de una hora.
0.4 -Más	Muerte en menos de una hora de exposición.

Fuente: Manual de Incendio y Explosión en Minas. MPSSP

Instituto Nacional de Salud Ocupacional. OMS/Bol/3001  
1979.

Anhidrido Carbónico (CO<sub>2</sub>)

El bióxido de carbono, no es tóxico. Actúa en cantidades pequeñas como activador de la respiración de 3-4%, sin embargo, con más de 5-6% origina dolor de cabeza, pérdida de conocimiento y muerte.

Hidrógeno (H<sub>2</sub>)

Es un gas más inflamable y explosivo que el metano, cuando se mezcla con el aire.

De acuerdo a la siguiente reacción química:



La mezcla explosiva más fuerte corresponde a la mezcla de un 71.4% de aire y un 28.6% de hidrógeno.

Para la respiración, el gas es inofensivo y se comporta, respecto a los pulmones y el corazón como el nitrógeno.

Oxidos de Nitrógeno (NO, NO<sub>2</sub>)

Los óxidos tóxicos de nitrógeno se disuelven en el agua de los pulmones dando lugar a la formación de los óxidos nitroso y nítrico que corroen las vías respiratorias. La inhalación de pequeñas cantidades de estos óxidos pueden causar la

muerte de cualquier persona expuesta a estos gases . (Ver C-4.10).

Límite máximo permisible es de 5 ppm ó 0.0005%, según Ley General de Minería N° 18880-Reglamento de Bienestar y Seguridad Minera Art. 227.

CUADRO N° 4.10

EFFECTOS DE LOS OXIDOS DE NITROGENO

CONCENTRACIONES		EFECTOS FISIOLÓGICOS
ppm	%	
25	0.0025	Concentración máxima permisible para exposiciones prolongadas.
60	0.006	Concentración mínima que causa irritación inmediata de la laringe.
100	0.01	Concentración mínima que causa tos.
100-150	0.01-0.015	Concentración peligrosa, aún para exposiciones cortas.
200-700	0.02-0.07	Concentración fatal, aún para exposiciones cortas.

Fuente: Manual de Incendios y Explosiones en Minas-MPSSP  
INSO-OMS/Bo1/3001,1979.

Acido Sulfhídrico (H<sub>2</sub> S)

El ácido sulfhídrico es mucho más venenoso que el monóxido de carbono pero su olor a huevo podrido hace muy fácil detectar su presencia.

Un 0.1% de concentración puede causar la muerte instantánea. La pérdida de conciencia del personal, puede resultar de una exposición al 0.05% a este gas; ver en el cuadro No. 4.11.

El ácido sulfhídrico ejerce una acción muy irritante sobre las mucosas oculares y el tracto respiratorio superior, conforme aumenta su concentración, tiene a destruir el sentido del olfato.

De allí que el personal expuesto a este gas puede suponer que la concentración del gas se está reduciendo, cuando en realidad está aumentando. La Ley General de Minería, Reglamento del Bienestar y Seguridad Minera, en el Art. 227, fija el límite máximo permisible de 0.002%.

CUADRO N° 4.11

EFFECTOS DEL ACIDO SULFIDRICO

Concentración %	Tiempo de	Efectos Fisiológicos
0.005-0.010	1 hr.	Envenenamiento sub-agudo: irritación ocular moderada, irritación respiratoria moderada.
0.020-0.030	1 hr	Envenenamiento sub-agudo: marcada irritación ocular, marcada irritación respiratoria.
0,050-0,070	0.5-1.0 hr.	Envenenamiento semi-agudo: pérdida de conciencia, muerte.
0.100	Minutos	Envenenamiento agudo: pérdida de conciencia, muerte.

Fuente: Manual de Incendio y Explosiones en Minas. MPSSP-  
INSO OMS/B01/3001,1979.

En el cuadro No. 4.12 que se describe, señala la acción tóxica del ácido sulfhídrico a diversas concentraciones. Los efectos posteriores de una intoxicación con ácido sulfhídrico son graves, porque duran por períodos largos de tiempo y pueden tener efectos reversibles.

CUADRO No. 4.12

ACCION TOXICA DEL ACIDO SULFHIDRICO

Concentración		Tiempo de Exposición	Acción Tóxica
ppm	%		
20	0,02	8 hrs.	Posiblemente ninguna
200	0,2	1 hr.	Concentración peligrosa.
400	0,4	0,5 hr.	Extremadamente peligrosa.
1000	0,1	Escasos minutos	Muerte instantánea.

Fuente: Manual de Incendios y Explosiones en Minas.

MPSSP-INSO-OMS/Bol/3001,1979.



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

El anhidrido sulfuroso es un gas que ejerce una acción altamente irritante a los ojos, nariz y gargante, aún a bajas concentraciones.

Puede lesionar gravemente a los pulmones, al ser respirado en altas concentraciones, las mismas que pueden ocasionar paro respiratorio. Por sus efectos altamente irritantes, es difícil que el personal ingrese voluntariamente en ambientes ricos en anhidrido sulfuroso. Una concentración del orden del 1.0% o más, es irritante en las partes húmedas de la piel.

El límite máximo permisible que fija la Ley General de Minería Reglamento de Bienestar y Seguridad Minera Art. es de 0.0005%.

Los efectos fisiológicos del SO<sub>2</sub>, a distintas concentraciones, se presentan en el siguiente cuadro No. 4.13. El anhidrido sulfúroso se reconoce por lo general por su olor característico que es el de Azufre en combustión. Partiendo de la severidad de los efectos fisiológicos, cualquier trabajador podrá hacer un cálculo de su exposición.

CUADRO N° 4.13

EFECTOS FISIOLÓGICOS DEL ANHIDRIDO SULFUROSO

Concentración		Efectos Fisiológicos
ppm	%	
0.3	0.00003	Detectable en la mayoría de las personas por el sentido del gusto, en lugar del sentido del olfato.
3.0	0.0003	Su olor es detectado por todas las personas expuestas a este gas.
10.0	0.001	Concentración máxima permisible, para exposiciones prolongadas de 8 horas.
20.	0.002	Concentración mínimo que causa tos e irritación ocular inmediata.
50	0.005	Irritación ocular pronunciada, así como de la garganta y pulmones. Es posible respirar esta atmósfera durante pocos minutos.
50	0.005	Concentración máxima permisible para exposiciones de 0.5-1.0 hr.
100	0.01	
150	0.015	Extremadamente desagradable. Puede soportarse durante algunos minutos.
400	0.04	Peligroso aún en exposiciones de corta duración,
500	0.05	Atmósfera imposible de respirar.

Fuente: Manual de Incendios y Explosiones en Minas.

MPSSP. INSO-OMS/Bol/3001. 1979.

#### 4.4.4.2 Límite de Explosividad de los Gases

Los gases generados en los incendios y explosiones, se vuelven explosivos si su concentración en % alcanza los límites de explosividad por volumen de aire atmosférico en la mina.

En el siguiente cuadro se presentan los límites de explosividad de los gases.

CUADRO 4.14

#### LÍMITE DE EXPLOSIVIDAD DE LOS GASES

G a s	Fórmula	Límite de Explosividad (%)	
		Inferior	Superior
Monóxido de carbono	CO	12.5	74.0
Anhidrido carbónico	CO <sub>2</sub>	Gas sofocante	
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	4.1	74.2
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	No inflamable	
Acido sulfhídrico	H <sub>2</sub> S	4.30	45.5
Oxido Nitroso	NO	Gas tóxico	
Anhidrido Nitroso	NO <sub>2</sub>	Gas Tóxico	
Anhidrido sulfuroso	SO <sub>2</sub>	1.3	50.0

Fuente: Departamento de Seguridad Centromin-Perú S.A.

Seguridad en Minas de Carbón Goyllarisquizga.

## 5. PREVENCIÓN Y CONTROL DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN

Al proyectar el Plan y Programa General de Explotación de las minas de carbón subterráneas, así como durante la preparación y explotación, deberán tomarse todas las precauciones posibles para prevenir, descubrir, controlar y dominar los incendios y explosiones.

Al elaborar el citado plan debe tenerse en cuenta los riesgos de incendio y explosión, a fin de dividir la mina en cuarteles de ventilación independientes.

### 5.1 Prevención de Incendio y Explosión

La prevención, consiste en establecer todas las medidas posibles que están dirigidas a evitar el inicio de incendios y/o explosión en las minas de carbón.

#### 5.1.1 Evaluación del Gas Metano y Polvo de Carbón

La evaluación se realiza con el fin de verificar y controlar las concentraciones de gases y polvos

de carbón en el ambiente de la mina, si se encuentran por debajo del límite permisible.

#### Evaluación del Gas Metano

Los métodos de evaluación han evolucionado bastante con el desarrollo de la tecnología en seguridad minera, buscando cada vez mayor precisión y rapidez, que permita tomar medidas correctivas adecuadas y oportunas, evitando así el riesgo de incendio y explosión.

Se puede distinguir dos grandes métodos de acuerdo al desarrollo de la ciencia y la tecnología.

##### 1) Método clásico.

La evaluación del gas metano se realiza empleando la lámpara de seguridad -que ha evolucionado desde la lámpara de Davy, hasta las lámparas Wolf y Koehler, que ostentan el sello de aprobación del US Bureau of Mines-. La lámpara es seguro sólo cuando está adecuadamente armada y en manos de personas responsables y experimentadas.

Si la llama normal de la lámpara se coloca en una atmósfera que contiene gases combustibles o inflamables, el gas que se encuentra más cerca de la llama arde y aumenta la longitud de la misma. La altura de la llama sirve pa-

ra indicar la cantidad de gas que existe en la atmósfera del lugar donde se efectúa la evaluación. La lámpara es capaz de indicar la presencia de metano antes que éste alcance su límite inferior de explosividad.

Al realizar la prueba de metano, debe bajarse la mecha hasta que la llama no sea luminosa. Se eleva la lámpara cuidadosamente y con lentitud, observando si se forma un cono, el mismo se alargará en proporción a la concentración de gas en la atmósfera a evaluar, llegando a un máximo de más o menos 4.5% de metano en el aire.

Cualquier concentración entre 5-15% produce una explosión dentro de la lámpara, apagando la llama. A las primeras señales de metano, la lámpara debe bajarse lentamente.

Las determinaciones del gas metano deben realizarse en forma horaria para valores inferiores al Límite Mínimo Permisible y estar a cargo de personal constituido por un número adecuado de trabajadores responsables, bien entrenados, convenientemente remunerados y directamente dependientes de la Oficina de Seguridad. (1)

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

## 2) Método Moderno

Se puede considerar dos grandes generaciones de equipos para evaluar y detectar el gas metano.

### a) Equipos Eléctricos.

Entre los equipos eléctricos más conocidos son:

#### Interferómetro portátil.

El tipo portátil es operado por batería, de tamaño pequeño y ligero de 1.3-2.0 Kg. de peso, dá alarma por medio de un zumbador y simultáneamente con la lámpara roja que enciende intermitente. La precisión del aparato es de 0.1 a 0.2% de metano (1)

#### Interferómetro estacionario.

El interferómetro Hitherto, tipo metanómetro ha sido usado en labores subterráneas de minas de carbón. Las alarmas automáticas son operadas por corriente alterna y no solamente dá señales en forma de zumbido y con luz roja intermitente, sino que corta automáticamente el abastecimiento de la energía eléctrica, al alcanzar la concentración de metano a un punto determinado. (2)

---

(1) y (2). Ver Bibliografía. Punto 9.6.

Detector de Metano Tipo MSA.

Es un aparato de la Mine Safety Appliances Company de Pittsburgh, se basa sobre el hecho de que durante la combustión del metano por un filamento caliente se libera calor, que a su vez origina un aumento de temperatura y un aumento de la resistencia eléctrica de este filamento de combustión.

Este aumento de resistencia del filamento - montado en un puente de Wheatstone, se traduce en una corriente, cuya intensidad es una medida del contenido de metano en el aire.

El aparato permite establecer tres campos de medición, en la zona de seguridad 0-1%, en la zona de peligro 1-2% y en zona de incendio 2-5%; la exactitud es de más o menos de 0.1% de metano.<sup>(1)</sup> (ver gráfica 5.1)

A la ventaja de una elevada precisión de lectura de la realización rápida y sencilla del análisis. Ej. Metanómetro utilizado en el Goyllar.

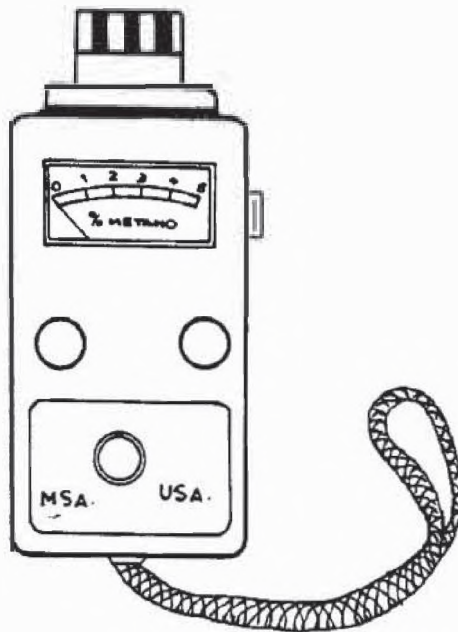
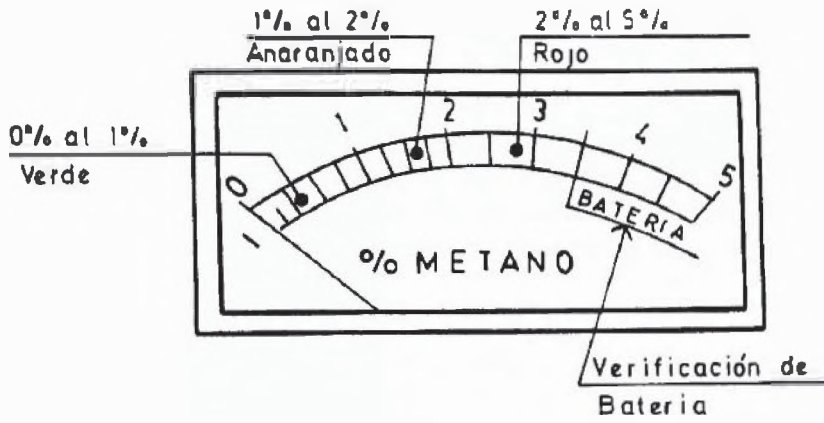
---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.



GRAFICA 5.1

# METANOMETRO



Registrador de Metano por absorción infrarroja.

Se basa sobre el hecho de que las radiaciones infrarrojas sufren un debilitamiento, debido al efecto de absorción del metano, anhídrido carbónico y monóxido de carbono, que pueda contener la atmósfera, cuya magnitud puede medirse.

La exactitud de la lectura representa 1-2% del valor final del campo de medición, o sea, por ejemplo, para un campo de medición de 0-4% el error máximo será de 0.08%, en un campo de medición de 0-6% el error máximo será 0.12%.

Debido a sus instalaciones eléctricas, hay que proteger el aparato mediante caja contra el grisú para trabajos en el interior. Por su elevado peso de 130 kg. es apropiado para medición en lugares fijos (talleres, secciones de una mina, etc.)

#### b) Equipos Digitales.

En la actualidad existen variedad de equipos e instrumentos digitales de mucha precisión, tanto portátiles y fijos; inclusive provistos de sonda, Detectores y analizadores indivi -

duales; pero en caso de los detectores y analizadores múltiples, estos aparatos tienen varios detectores que simultáneamente evalúa todos los gases existentes en una mina y dando resultados en forma inmediata.

Los fijos, están controladas mediante una Central Programable-computarizada-inclusive puede usar tres diferentes lenguajes y computarizada con microprocesadores, que consta de una Unidad Central de Procesamiento.

En las minas automatizadas, el control del metano y las medidas correctivas se realizan automáticamente, en esta forma a disminuído el riesgo de exponerse directamente de los trabajadores en la mina ejemplo en Japón, Alemania, Francia, EE.UU., etc. (1)(2).

Evaluación del polvo de carbón.

En las mediciones de polvo no es suficiente - determinar simplemente la cantidad de polvo, sino es necesario también conocer la composición mineralógica y la composición granulomé-

---

(1). Ver Bibliografía. Punto 9.6

(2) Ver Bibliografía. Punto 9.7

trica del polvo, factores que influyen considerablemente sobre el riesgo. Además de estas exigencias, viene a complicar todavía más la función del instrumento medidor del polvo, el amplio campo de medida necesaria.

La concentración considerada como límite mínimo de explosividad en condiciones mineras, está determinada en 75 a 100 grs/m<sup>3</sup> de aire. El Reglamento de Código Minero establece un mínimo de 30 grs/m<sup>3</sup> de aire.<sup>(1)</sup>

#### 1) Método Clásico.

Los aparatos medidores de polvo de carbón son:

##### Contadores de polvo o Konímetro

Inicialmente la detección de polvo se hacía basado en método de conteo de partículas, su uso fué difundida con el propósito de prevenir la **neumoconiosis** en las minas.

Se considera peligroso un contenido en polvo de carbón superior a 500-800 partículas por cm<sup>3</sup> de aire. Para carbones bituminosos 880 mppca y 1250 para antracitas.<sup>(2)</sup>

---

(1) y (2). Ver Bibliografía. Punto 9.6.

Muestreador Gravimétrico de Polvo.

Este tipo de muestreador es más usado para la atención y medición de polvos.

Aspiran el aire polvoriento a través de un filtro y determinan el contenido de polvo en mg/m<sup>3</sup> por pesada del polvo recogido, relacionada al volumen de aire aspirado.

Los aparatos gravimétricos tiene la ventaja de que, por regla general, no sólo determinan la cantidad de polvo, sino también la composición granulométrica y mineralógica.<sup>(1)</sup>

## 2) Método Moderno.

Los aparatos más usados son:

Balanza de Polvo de Gast.

Precipita sobre un porta objetos y se cuenta al microscopio el número de partículas por cm<sup>3</sup>. de aire aspirado.

Se puede determinar no sólo el contenido en polvo, sino también la forma de los granos y reconocer la composición mineralógica.<sup>(2)</sup>

---

(1) y (2). Ver Bibliografía. Punto 9.6.

Medidor de tipo Fotocélulas.

Es un medidor basado en el efecto Tyndall de nube de polvo es usado ampliamente en las excavaciones subterráneas. El instrumento indica en forma directa y en el acto la concentración de polvo hasta 2000 mg/m<sup>3</sup>. de aire.

El muestreo o detección de polvo, realizada en forma regular es con el objeto de prevenir explosión y/o neumoconiosis. (1)

Microscopio portátil polarizador.

La proporción mixta de polvo de carbón y polvo de piedra (sílice) pueden ser observados por el microscopio polarizador portátil, desarrollado para este propósito aún en las labores subterráneas. El instrumento es usado para controlar la proporción de polvo de piedra en la zona en que exista este tipo de polvo.

(2)

Detectores Digitales.

Miden niveles de polvo desde 0.01 hasta 100 mg/m<sup>3</sup> y tiene un alarma de concentración ajustable por el usuario.

---

(1) y (2). Ver Bibliografía. Punto 9.6.

Existen portátiles y fijos, pueden acumular hasta 800 promedios de 1 minuto de exposición. - Los datos de concentraciones almacenadas pueden leerse en la unidad de lectura u otras computadoras de mesa, para precisar períodos de alta concentración,

El programa también computa automáticamente los promedios de concentración de períodos de 8 horas y otras informaciones estadísticas.

Las minas modernas automatizadas cuentan con una central de control computarizada. (1) (2)

#### 5.1.2 Medidas contra el Grisú y Polvo de Carbón.

Hay dos formas efectivas: previniendo la acumulación del gas grisú por medio de la ventilación y neutralizando el polvo de carbón con polvo inerte o agua y eliminando o controlando estrictamente las posibles causas de ignición.

En la práctica se emplean ambos métodos, porque repentinamente puede aparecer el gas metano, alcanzando su concentración dentro de los límites de explosividad a pesar de la buena ventilación.

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

(2) Ver Bibliografía. Punto 9.7

De la misma forma deberán tomarse mayores precauciones para minimizar la posibilidad de que se produzca alguna fuente de ignición, lámparas, explosivos, maquinarias, etc., deberán manejarse de acuerdo con las reglas de seguridad para cada caso.

#### 5.1.2.1 Factores Humanos

Debería insistirse en todo momento acerca de la importancia del factor humano en la prevención de los incendios y explosiones.

Debería tomarse medidas para que los mineros, los supervisores y el personal de dirección estén debidamente informados acerca de los diferentes aspectos de los riesgos de explosión y de su prevención y se esfuercen por colaborar de la manera más amplia posible con objeto de lograr la aplicación eficaz de los métodos de prevención y de garantizar así la explotación segura de la mina.

Cada persona empleada en la mina debería velar por su propia seguridad y la del lugar donde trabaja y tener presente en todo momento la seguridad de los demás trabajadores, además, debería hacer lo posible por subsanar cualquier fallo observado en el curso de su trabajo que pudiera



disminuir la seguridad.

Las disposiciones reglamentarias relativas a la seguridad no deberían considerarse como un repertorio de obligaciones y sanciones, sino como un conjunto de recomendaciones aceptadas de buen grado y que todos se esfuercen por cumplir; cada vez que alguien infrinja tales disposiciones los demás deberían llamarle la atención inmediatamente.

No debería escatimarse esfuerzo alguno, especialmente por medio de la formación y de la educación incluyendo la enseñanza sistemática de los principios fundamentales de la seguridad, para inculcar y fomentar en cada individuo el sentido de su propia responsabilidad en cuanto concierne a la seguridad en el trabajo.

Debería insistirse en todo momento en la necesidad de una acción común de la dirección y de los mineros.

Convendría desplegar el máximo esfuerzo en reuniones de comités consultivos y de seguridad en la mina, para asegurar el mayor aprovechamiento de los conocimientos y experiencias adquiridos por los trabajadores en materia de seguridad y de buenas prácticas mineras y para forjar la in

dispensable colaboración entre todos.

La autoridad competente debería colaborar en estos esfuerzos con sentido constructivo y procurar por todos los medios a su alcance no sólo que se apliquen las disposiciones legales pertinentes, sino también que se eliminen los riesgos se fomenten las investigaciones en materia de seguridad y se promueva la formación e información del personal.<sup>(1)</sup>

#### 5.1.2.2 Ventilación.

La ventilación en las minas es el suministro regulado de aire fresco a las labores subterráneas y la eliminación de aire viciado y explosivo, al exterior.

Entendemos por "aire" o "atmósfera" la mezcla de gases existentes en la mina, sin tener en cuenta su composición. Si el aire tiene la composición aproximada del aire atmosférico, siendo apropiado para la respiración, hablamos de aire "fresco o bueno". Si el aire no es apto para la respiración o solamente con reparos, por su mayor contenido en gases irrespirables (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, etc.), se le llama "aire viciado" y -

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

si contienen mezclas venenosas se le llama aire tóxico (CO, H<sub>2</sub>S, NO, NO<sub>2</sub>, etc.). Cuando por la existencia de gases inflamables (CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, carburos, CO, etc.), poseen la capacidad de producir explosiones, en términos mineros se conoce como "atmósfera explosiva".<sup>(1)</sup>

### Objetivo de la Ventilación.

Los objetivos principales de la ventilación en una mina son:

1. Proporcionar a los mineros aire fresco en cantidad suficiente para que respiren y desarrollen su labor en condiciones normales.
2. Diluir los gases explosivos e inflamables y los polvos de carbón, evitando de esta forma el inicio de la explosión e incendio. Diluir además, otros gases asfixiantes, tóxicos, haciéndolos inofensivos para la salud de los trabajadores.
3. Rebajar la temperatura en minas calientes-profundas y en otros casos bajar la humedad.

### Cantidad de aire necesario

En las minas de carbón subterráneas, por lo general la completa eliminación del peligro del grisú

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

y el polvo de carbón, es la misión más importante y determina la magnitud de la ventilación. Depende del tipo de carbón, de su composición porcentual de materiales volátiles, del método de explotación empleada, del número de trabajadores, maquinarias, etc.

El Reglamento de Bienestar y Seguridad Minera.- Art. N° 339 fija para las minas de carbón, la cantidad mínima de aire por persona será de 4.50 m<sup>3</sup>/minuto (159 pies cúbico/minuto) cuando las minas se encuentran próximas al nivel del mar. En otras altitudes la cantidad de aire por persona será la siguiente: (Ver C. 5.1).

CUADRO N° 5.1

CANTIDAD DE AIRE POR PERSONA

Altitud (mts)	Incremento %	Cantidad	
		m <sup>3</sup> /min	pie/min
De 1,500-3000	40	6.30	223
De 3,000-4000	70	7.65	270
Sobre los 4000	100	9.00	318

Fuente: Ley General de Minería 1880. Reglamento de Bienestar y Seguridad Minera. Arts, 304 y 339.

En caso de emplearse equipos Diesel autorizado, la cantidad de aire circulante no será menor de 3 m<sup>3</sup>/min para cada HP que desarrollan los equipos. (1)

### Lugares a Ventilar

La ventilación cumple papel muy importante, diluyendo constantemente los gases y polvo inflamables y nocivos, los hace inocuos y los evacúa, manteniendo además condiciones de trabajo aceptables en lo que se refiere a la temperatura, humedad y concentración de polvo.

Para prevenir eficazmente las explosiones de grisú y polvo de carbón en una parte de la mina donde pueda concentrarse el gas y el polvo en cantidades peligrosas, la ventilación debería ajustarse a los siguientes requisitos:

- a) El volumen de aire que pasa a través de dicha parte de la mina, debería ser suficiente para diluir el grisú desprendido y el polvo de carbón producido y disminuir la concentración - hasta un valor insignificante, por debajo del límite mínimo de explosividad.

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.5

- b) La velocidad del aire debería ser suficiente para empujar el grisú que se desprenda y para impedir que se acumule o se desplace en capas contra el techo, dado su densidad inferior o del aire.
- c) En las escombreras o sectores abandonados que no hayan sido condenados o cegados y donde hay grisú, debería mantenerse una ventilación suficiente.
- No obstante, si en los trabajos o sectores en cuestión hubiese peligro de combustión espontánea, debería procurarse la supresión o reducción al mínimo de cualquier corriente de ventilación que pase por ellos.
- d) En los frentes que no sean tajos largos y que no se recalienten, debería mantenerse una corriente de ventilación suficiente desde dichos tajos a través de los antiguos sitios de laboreo. La ubicación de las conexiones a la vía de retorno del aire, debería permitir que el aire pase por todo el sector abandonado de modo que todas sus partes estén ventilados.
- e) Debería determinarse con regularidad el contenido de grisú del aire que circula por los distintos sectores independientes de ventila-

- ción de la mina, así como por las vías principales de entrada y retorno del aire.
- f) Deberían precisarse los lugares donde efectuar tales mediciones y la periodicidad de las mismas deberían registrarse todas las mediciones relativas a las emanaciones de gas y ventilación.
- g) En los nichos para maquinarias no ventiladas, que en todos los casos deberían ser lo más reducidos posibles, se debería proyectar una corriente de aire hacia la superficie del carbón situado en el nicho a velocidad igual como mínimo a la del aire que pase por el resto del frente y con caudal suficiente para diluir el grisú y dispersar el polvo en suspensión en el aire, reduciendo su contenido a niveles admisibles. (1)

#### Ventilación principal

La ventilación principal de cada mina de carbón debería asegurarse mediante uno o varios ventiladores, mecánicos o eléctricos, instalados en la superficie, que funcionan constantemente.

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

A los ventiladores principales deberán construirse y situarse de manera que se reduzcan los riesgos de deterioro en caso de explosión e instalarse en cajas cerradas resistentes al fuego.

Se debería disponer de ventiladores de socorro, los ventiladores principales deberían estar alimentados por un circuito de energía separado e independiente del circuito principal de la mina. La inspección de las instalaciones de ventilación debería hacerse cada turno de trabajo durante el día y llevarse un registro de estas inspecciones en donde se indiquen los datos de funcionamiento de tales instalaciones.

El cálculo inicial de la capacidad total del ventilador o de los ventiladores, así como de las principales características del esquema de ventilación, debería hacerse de manera que corresponda con el rendimiento máximo que se necesita mientras dure la explotación de la mina. (1)

Las características de los ventiladores principales se deberían comprobar in situ, ya que, en la práctica, pueden diferir de las curvas teóricas indicadas por el fabricante.

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.



### 5.1.2.3 Infusión de Agua

La medida principal contra la explosión de polvo de carbón es prevenir la formación del mismo, el método más efectivo para prevenir la acumulación de polvo desde su origen es la infusión de agua en las vetas.

Existen 4 tipos diferentes de infusión de agua, que son:

- a) Riego de Arrancadoras mecánicas o manuales.  
Rozadoras y máquinas cortadoras de carbón, en todo frente en que esté seco el carbón (las rozadoras y cortadoras o arrancadoras) deberían estar provistas de sistemas eficaces de pulverización de agua.
- b) Agua en bolsas.  
Represar agua en bolsas para las voladuras.
- c) Riego con inyectores y
- d) Rociadores o colectores de polvo seco.

La presión varía en un amplio intervalo, se considera a baja presión hasta 35 kg/cm<sup>2</sup>. y alta presión de 35 a 200 kg/cm<sup>2</sup>, a lo largo del taladro de perforación y por último a pulsación para disparos.

La densidad de la infusión difiere debido a las condiciones de las vetas y del método de infusión, pero el rango es de 3 a 40 lts/m<sup>3</sup> de carbón, además de estos tipos de infusión de práctica represar el agua con bolsas para voladuras, también el riego con inyectores y rociadores o colectores de polvo seco, todo esto se adopta para prevenir y suprimir el polvo aerotrasportado. El polvo de carbón como material para la explotación de carbón de polvo es proporcionado generalmente del polvo depositado en las galerías de tránsito, considerado esto, la limpieza y consolidación del polvo con algunos productos químicos que tiene lugar para prevenir el polvo de explosión. (1)

#### 5.1.2.4 Neutralización del polvo de carbón por Esquistificación.

La influencia de neutralización varía mucho según la naturaleza del material estéril, la finura; según el Reglamento Francés, fija límites inferior y superior en 50 u y 75 u y depende de la proporción de Material Volátil del combustible y la cantidad de grisú en el aire. Tomando como re

---

(1) Ver Bibliografía. Punto .9.6.

ferencia la arcilla, por ejemplo se establece los coeficientes de equivalencia, para diferente material estéril, ver cuadro No. 5.2.

CUADRO No. 5.2

COEFICIENTES DE EQUIVALENCIA

MATERIAL ESTERIL	COEFICIENTE DE EQUIVALENCIA	
Arcilla	1.00	100%
Pizarras	1.10	110%
Arena	1.20	120%
Calizas	0.88	88%
Yeso	0.45	45%
Naclila	0.06	6%

Naclila : Es una mezcla de 80% de  $\text{ClNa}$ , 18% de talco y 2% de  $\text{MgCO}_3$

Fuente : Explotación de Minas. V. Vidal.

El material estéril intercepta una parte de la radiación y absorbe calor. Produciendo descenso de la temperatura de la llama y retraso del calentamiento de las partículas de carbón situadas por delante del estéril.

Ciertos estériles experimentan, a temperatura elevada, una transformación endotérmica (disociación de la caliza, deshidratación de las pizarras y del yeso, fusión y vaporización del cloruro de sodio).

Esta transformación refuerza el efecto térmico - señalado precedentemente; hay una producción de gases inertes, agua y anhídrido carbónico que disminuyen la concentración de oxígeno. (1)

#### 5.1.2.5 Recomendaciones de utilidad práctica

Estas medidas preventivas son empleadas necesariamente en cualquier mina de carbón, por su utilidad práctica, por lo tanto, son recomendables las siguientes:

- 1) Establecer un Programa de Evaluación y control de gases y polvos de carbón que debe estar a cargo de personal capacitado e idóneo.

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

- 2) Reconocer, evaluar y controlar periódicamente el sistema de ventilación en función del desarrollo futuro de la mina.

Ventilar todos los lugares de la mina, ramificando suficientemente la corriente general de ventilación para que llegue a todos los frentes de trabajo. Para conseguir este fin a veces es necesario emplear ventiladores auxiliares en los frentes no comunicados, puesto que el empleo de aire comprimido además de ser deficiente, resulta antieconómico.

- 3) Muestrear y analizar el aire de retorno de cada ramal diariamente y determinar el contenido de metano en forma horaria en labores donde se ha sobrepasado el límite máximo permisible.

Para ello se establecerá grupos de personas muestreadoras de polvo y gas. Serán los encargados de reportar las concentraciones al final de la guardia en cuadernos especiales para este fin.

El número de personas responsables, estarán bien entrenados convenientemente remunerados y directamente dependientes de la Oficina de Seguridad. La supervisión de este grupo será rigurosa, y se prohibirá el reemplazo aún mo-

mentáneo, de algún personal por otro ajeno a estas actividades.

- 4) Clausurar y sellar todos los lugares abandonados de la mina, lo mismo aquellos que no serán trabajados por un largo período y no pueden ser ventilados o inspeccionados.

De igual forma, se construirán puertas de cierre automático en los lugares donde sea conveniente mantenerlas cerradas, prohibiéndose terminantemente el empleo del espacio entre un par de puertas como depósitos aún transitorio, de maderas u otros materiales.

- 5) Emplear polvo inerte abundante para controlar el polvo de carbón asentado en el piso, paredes, techo y enmaderado de las labores teniendo en cuenta que una mezcla de metano y polvo de carbón puede resultar explosiva aún cuando sus componentes se encuentran en concentraciones inferiores a sus respectivos límites de explosividad.

Es recomendable que a los trabajadores se les proporcione polvo inerte húmedo para que de vez en cuando espolvorean a medida que se avanza en el frente de trabajo, siendo necesario tener en cuenta que el contenido de sílice libre del polvo inerte debe ser bajo y nunca ex-

ceder de 5% para ocho horas de trabajo diario y concentraciones aproximadas a 25 mppca.

Para 100 grs. de polvo de carbón se tiene 60 grs. de material no combustible, para prevenir la explosión debe ser

$$\frac{60 + I}{100 + I} > 70\%$$

donde

I = Cantidad de polvo inerte por cada 100 grs. de polvo de carbón.

(60+I) debe ser mayor que (70 + 0.70 I), es decir: I mayor que 33.3 gramos por cada 100 grs. de polvo de carbón asentado en suspensión.

- 6) Evitar el mayor calor por frontamiento en las canoas, fajas transportadoras, etc.
- 7) Efectuar un riguroso registro al personal en ingreso a la mina para cerciorarse que no lleven fósforos u otras sustancias que puedan inflamarse voluntariamente o involuntariamente.
- 8) Establecer un régimen de disparos y efectuar éstos cuando la concentración de metano sea cero y cuando se tenga la certeza de que el peligro potencial de explosión por polvo de carbón ha sido neutralizado.

- 9) Mantener en condiciones óptimas de funcionamiento las lámparas de seguridad u otros equipos de evaluación, lo mismo los equipos de salvataje minero, con repuestos en cantidades suficientes. De igual forma, debe mantenerse en lugares estratégicos instalaciones de camillas, extinguidores, teléfonos, etc.; en óptimas condiciones de trabajo.
- 10) Para efectos de evacuar al personal en casos de siniestros, se deberá colocar en el interior de las minas avisos, marcas, señales, etc., convenientes para este fin. Se establecerá, igualmente un sistema de claves de toques en sirenas en superficie para la rápida reunión de los miembros de rescate minero en casos de emergencia.
- 11) Las minas se dividirán en secciones independientes de manera en ninguna de ellas se encuentren simultáneamente más de 100 personas. Cada una de estas secciones deberá formar un circuito de ventilación completamente aislado de los demás.



12) Se cumplirá estrictamente lo establecido por el Reglamento de Código de Minería.

## 5.2 Protección Contra Incendio y Explosión

La protección comprende todas las medidas relacionadas con la defensa de la vida de los trabajadores y la preservación de la propiedad mediante la prevención, en caso de presentarse un siniestro.

Siendo la protección todos los procedimientos de prevención que están dirigidos a minimizar el riesgo de incendio o explosión. Por ejemplo, podría preverse dos límites de alerta, si alcanza el límite superior de concentración del gas o polvo de carbón, todos los trabajadores deberían abandonar la zona vulnerable; al alcanzar el límite inferior, debería interrumpirse la alimentación en corriente eléctrica de la zona vulnerable. En caso de haber detectado, en algún lugar de la mina, temperatura cercana a la temperatura de inflamación del gas grisú que es de 650°C, tendría que evacuar inmediatamente a los trabajadores, hasta que desaparesca la condición insegura o se inicia el siniestro inevitablemente. <sup>(1)</sup>

---

(1). Ver Bibliografía. Punto 9.6

### 5.2.1 Protección de personas.

La protección de la salud y la vida de los trabajadores en las minas de carbón subterráneas o cualquier otra actividad industrial deberá ser de primera prioridad, por encima de cualquier otra disposición, tendientes a evitar pérdidas de vidas y lesiones personales.

#### 5.2.1.1 Métodos de Protección.

Si es inminente el peligro o en caso de producirse incendio o explosión del gas grisú o polvo de carbón, por prevención, se han diseñado métodos de protección, que ayudan evitar o minimizar el riesgo a que se exponen la vida de los trabajadores mineros.

#### A) Métodos Clásicos más utilizados.

1. Las minas se dividirán en secciones independientes de acuerdo al Reglamento de la Ley General de Minería 18880 Art.N°337 y la OIT.

En cada sección independiente de ninguna manera se encuentren simultáneamente más de 100 personas. Cada una de estas secciones

deberá formar un circuito de ventilación completamente aislado de los demás, como una medida preventiva en caso de presentarse un siniestro.

## 2. Comunicación.

Mantener una buena comunicación entre la superficie y las labores subterráneas especialmente entre la dirección técnica en superficie y los supervisores en las labores subterráneas, es de vital importancia no sólo para lograr una producción eficiente diaria, sino también para actuar en forma adecuada en casos de emergencia. Frecuentemente la comunicación suele ser telefónica, - por golpes de tubería de aire; la cual no siempre es práctica, en especial en las emergencias.<sup>(1)</sup>

### Comunicación por medio de Ethil Mercaptan

Es un medio tradicional de comunicación utilizado en la minería. En caso de producirse un incendio o cualquier tipo de desastre en que peligre la vida de los trabajadores, cualquier supervisor notificará a la casa

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

de compresoras para que rompan las botellas de ETHIL MERCAPTAN, instaladas en la tubería de aire comprimido y que dá un olor fétido al aire. Indica Alarma, para que todos los trabajadores salgan a superficie inmediatamente.

Por lo tanto, es necesario que todo el personal conozca las siguientes instrucciones:

a) Es un líquido de olor parecido a ajos o coles podridos, que se inyecta a la tubería de aire comprimido y que está instalada en una caseta.

Este líquido de olor fétido no es dañino - para el organismo humano.

b) Este líquido al ser inyectado en la tubería de aire, se transforma en vapor y va mezclado con el aire comprimido a todos los lugares de trabajo. Se usa solamente en caso de emergencia como por ejemplo incendios que producen gases y humos dañinos que inundan los lugares de trabajo, o también en casos de inundaciones por golpes de agua. Ej. CENTROMIN usa este sistema de comunicación. (1)

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

### 3. Vía principal de evacuación.

En estas emergencias, el personal puede entrar en estado de pánico por lo que es aconsejable que una persona competente se haga cargo de la situación en estas circunstancias. Esta persona debe ser inteligente y serena, debe poseer cualidades de mando. Debe ser conocedora de los lugares de trabajo, de las vías de escape, de emergencia y de los procedimientos a seguir.

Asimismo, debe ser capaz de instruir al personal y ver que las instrucciones impartidas son acatadas por el personal bajo su responsabilidad.

En caso de una emergencia comprobada, este líder reunirá al personal y le explicará claramente la situación a ser encarada. Explicará las distintas alternativas a ser seguidas para salir, procedimientos a emplear e iniciará la tarea de escape. De contar con sogas y/o cordeles u otro material similar, el personal se atará para evitar su separación. (1)

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

Escogiendo una vía principal de escape y otra alterna, el líder explorará la vía principal, usando los equipos probadores de gases.

#### 4. Cámaras de refugio.

Estas deben estar situadas en lugares estratégicos de la mina, en caso que el personal sea atrapado entre el trabajo en desarrollo y el siniestro, pudiendo aprovechar en estos casos los refugios los cuales estarán provistos con puertas de metal en armadura de concreto que aseguren su cierre hermético. Deberán contar con arena y arcilla para asegurar el completo sellado de la puerta. Además estos refugios deberán estar provistos con líneas de aire y agua, tendrán también teléfono.

Los trabajadores que usen estos refugios deberán tener en mente lo siguiente: que la puerta esté bien sellado, para que no pase humos y gases, abrir la válvula de aire y permanecer abierta, avisar por teléfono la localización y número de trabajadores en refugio y deberán conservar energía, luz y alimentos, ya que no es posible conocer cuanto tiempo pueden permanecer hasta

que venga ayuda de afuera (superficie).  
Ej. Ver Plano de Avance del Goyllar(P-1)  
(1)

## 5. Barricadas

Todo personal que trabaja en las labores subterráneas debe ser adiestrado en la construcción de barricadas. El saber escoger un lugar apropiado y contruir una barricada para un minero en peligro, significa salvar su vida y la de los compañeros que están con él.

Nuestro primer objetivo debe ser salvar vidas, pues bien, los hombres atrapados, cuyas vidas están en peligro, deben estar en una barricada preparada por ellos, para no sufrir las consecuencias de respirar aire contaminado de gases tóxicos provenientes de una zona de incendio o explosión.

Un espacio de 3m x 3m x 3m o sea 27 m<sup>3</sup>, es decir 23,000 lts. de aire serán necesarios para que un hombre pueda resistir 37 horas en el refugio o barricada.

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

Las barricadas serán de invalorable ayuda contra el siniestro, ya que encierran y privan de la fuente de aire fresco, desde donde pueden llevarse a cabo los avances y combates contra incendio.

#### Tipos de Barricadas

- |             |  |
|-------------|--|
| Tipo pared  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Temporal, de lona o madera.</li> <li>- Permanente, de ladrillos.</li> </ul> |
| Tipo puerta | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Temporal, de madera</li> <li>- Permanente, de concreto o fierro.</li> </ul> |

#### 6. Barreras

La barrera provisional debería ser sólida y de un espesor proporcional a la sección de la galería y debería construirse con gran rapidez utilizando material que ofrezca protección lo más eficaz posible contra las explosiones de polvo de carbón y gas grisú. Evitan la dispersión del incendio.

Disponer en lugares apropiados el almacenamiento de los materiales necesarios para la construcción de las barreras o diques; sacos de arena, sacos de polvo inerte, ladrillos y cemento.



## 7. Tabiques

Se distinguen los ligeros y rápidos de construir y los definitivos. Los primeros no permiten más que limitar rápidamente la llegada de aire. Los segundos son estables y capaces de resistir a las explosiones. Estos son de ejecución larga (varios días), su cierre constituye un problema difícil de seguridad. (1)

Clasificación de tabiques provisionales según el material.

1. Se hacen de planchas de yute o de nylon, clavadas a maderas, unidas a las paredes por arcilla plástica. Puede elevarse por 4 ó 5 hombres en 15-20 minutos.
2. Planchas dispuestas para recubrir la sección parcialmente. Sus juntas son lucidas con arcilla o yeso ya que este material se extiende más fácilmente y más de prisa.
3. Lona de vidrio.

Se extiende en cojines de 12 kg. de dimensión 100 cm x 50 cm x 25 cm, envueltas en una red metálica para mantener su forma y

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

condición. Su manipulación exige guantes. No se cerrará totalmente más que si es - de temer la explosión. La colocación es - muy rápida.

#### 4. Mamposterías, ladrillos o arcilla apisonada.

Los tabiques anteriores son provisionales y han de completarse con uno de ladrillo. La presencia de un antetabique facilita - la construcción del definitivo ya que sirve de pantalla a los gases y al calor.

### B) Métodos Modernos.

Estos métodos tienen sistemas de control centralizado en superficie, mediante computadoras. Los métodos modernos han demostrado alto grado de seguridad.

#### 1. Sistemas de comunicación.

En la actualidad se ha establecido la obligación legal de que la comunicación entre superficie y labores subterráneas sea por sistema de radiocomunicación.

Este sistema consiste en una estación fija en la superficie y de un número de estaciones móviles llevadas por los supervisores

de mina. El receptor y transmisor han sido desarrollados mediante una investigación intensiva.

El aparato es pequeño en tamaño, liviano en peso y fácil de manejar. Con el empleo del indicado receptor transmisor pueden comunicarse libremente, empleando un micrófono que cuelga del cuello de la persona. En casos de emergencia la información puede ser simultáneamente transmitida a todo el personal habilitado con tal aparato.

Para la comunicación entre supervisores y operarios en áreas de trabajo, ha sido desarrollado un radio inductor especial por medio de un repetidor instalado en el frente de trabajo.

Las personas que se encuentren dentro del radio de 75 mts. pueden comunicarse entre ellos. (1) (2)

## 2. Vías de evacuación.

Cuando ha llegado el límite de alarma de incendio o explosión, automáticamente aparecerán señales que va indicando la vía a seguir por los trabajadores de labores sub-

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6

(2) Ver Bibliografía. Punto 9.7.

terráneas hacia la superficie o a los refugios.

### 3. Cámaras de refugio.

En casos de siniestros, las alarmas automáticas hacen sonar sirenas contra incendio y al mismo tiempo automáticamente quedan abiertas las puertas de cierre hermético a prueba de incendio y explosión.

### 4. Bolsas de aire.

Las bolsas de aire para emergencia, recientemente usado, son prácticas para el uso en el sellado de galerías, en caso de siniestro, en minas de carbón.

### 5. Barreras, cierres para galería y puertas.

Son automáticas, hechas a prueba de incendio y explosión con sello hermético para no dar paso a los gases y el calor.

#### 5.2.1.2 Equipos de protección personal.

Todo personal debe estar equipado con vestidos y cubrecabezas incombustibles de los que existen - modelos ligeros, impregnados de una sustancia ignífuga, que preserven de quemaduras y no impiden los movimientos.

Como protección individual importante, es la preparación psicológica teórica y práctica de los trabajadores.

La mejor posibilidad que tiene el personal del subsuelo, de salir con vida es usar el equipo de auto-rescate, aún cuando puede y/o tenga que desplazarse por ambientes con contenido de gases y calurosos, en su primer intento de escape.

El empleo de máscaras auto-rescatadoras protegerá al personal contra los efectos nocivos del monóxido de carbono mientras se desplaza por el subsuelo. No debe perderse el tiempo en emplear estos artefactos de protección, ya que de haber monóxido en el ambiente, sus efectos serán mortales.

El personal deberá contar con equipos de medición del grado de deficiencia del oxígeno presente en el aire de la mina.

Los auto-rescatadores convierten el monóxido de carbono en anhídrido carbónico, gas relativamente inocuo. Debe haber oxígeno en cantidades suficientes para mantener la vida del personal. <sup>(1)</sup>

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

### 5.2.2 Protección de instalaciones

En las construcciones e instalaciones en una mina de carbón subterráneas, se tendrá que utilizar material a prueba de incendio y explosión.

#### Ventiladores

En el Art. 309 del Reglamento de Bienestar y Seguridad Minera, dice: se tomará todas las providencias del caso para evitar la destrucción y paralización de los ventiladores principales incluyendo las siguientes:

- a) Estarán instaladas en casetas incombustibles y protegidos contra derrumbes, golpes, explosivos y agentes extraños;
- b) Tendrán por lo menos dos fuentes independientes de fuerza eléctrica que en lo posible, deberán llegar por caminos diferentes.
- c) Estarán provistos de dispositivos automáticos de alarma para el caso de disminución de velocidad o paradas; y
- d) Se tomará todas las precauciones aconsejables en orden a las condiciones locales para proteger los ventiladores,

Los ventiladores principales estarán provistos de dispositivos que permitan invertir la co-

rriente de aire en caso necesario. (1)(2)

En los Pozos y labores que desembocan al exterior.

- a) Las construcciones o instalaciones que recubren la boca de los pozos y de las labores que desemboquen al exterior, o que estén erigidas en sus inmediaciones, así como los castilletes de extracción, deberían ser contruidos con materiales incombustibles.
- b) Los enganches interiores de los pozos, así como las galerías y otras labores, puertas inclusive, que comuniquen con los pozos, deberían ser de materiales incombustibles o ser tratados o ignífugados eficazmente en un radio de 75 mts., por lo menos alrededor de los pozos.
- c) En la proximidad de todos los enganches de pozos de entrada de aire, puertas de incendio que puedan cerrarse herméticamente y que se abran contra la corriente de aire.
- d) En caso en que las puertas de incendio estén cerradas, debería subsistir, entre todas las

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.5

(2) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

labores de la mina cortadas del pozo de entrada de aire y la superficie, un medio de comunicación que permita la circulación del personal.

- e) Cada vez que hay riesgo de que las puertas de contra incendio sean atravesadas por llamas, gases o humos, debería tomarse una decisión - sobre el cierre de esas puertas ;y
- f) Debería existir una consigna que precise cuáles son las personas que pueden decidir el - cierre de las puertas de contra incendio, teniendo en cuenta el riesgo inherente a las minas en que se desprende grisú.

Las puertas de contra incendio deberán mantenerse en buen estado y ser ensayadas tan frecuentemente como sea necesario. (1)

### Galerías

- a) Al avanzar o reparar las galerías principales de entrada de ventilación, la fortificación de finitiva, inclusive el revestimiento, debería construirse de materiales incombustibles;
- b) Los cruces y los encuentros de las galerías - principales de ventilación deberían ser de material incombustibles.

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.



- c) Los tabiques establecidos entre las galerías principales de entrada y de retorno del aire deberían ser de materiales incombustibles y a prueba de explosión; y
- d) Las puertas principales y sus marcos deberían ser contruídos de material incombustibles y resistentes al incendio y explosión.

Los marcos deberían estar empotrados en mampostería, hormigón u otros materiales similares. (1)

#### Anchurones (Cuarteles).

- a) Las cámaras de poleas con freno, las salas de máquinas, los talleres y sus anexos deberían ser materiales incombustibles;
- b) Los anchurones en que se almacenan materiales combustibles o inflamables deberían estar contruídos de materiales incombustibles.

Estar dispuestos de forma que en caso de incendio, los humos y los gases peligrosos pueden ser evacuados directamente al retorno de aire sin pasar por labores o galerías frecuentadas; deben ser cerrados herméticamente a todo acceso de aire mediante puertas a prueba de incendio y explosión

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

La vigilancia debe ser constante cada turno de trabajo, o estar provistos de detectores de incendios o de señales automáticas de alarma y de sistemas de extinción. (1)

#### Materiales combustibles e inflamables

- a) En las construcciones que recubran la boca de los pozos y de las labores que desembocan al aire libre no deberían depositarse materiales combustibles o inflamables.
- b) No debería instalarse en los pozos o en las labores que desemboquen al aire libre ninguna canalización de líquidos inflamables.
- c) No deberían almacenarse en el interior líquidos inflamables cuyo punto de inflamación, de terminado conforme a una norma bien definida, sea inferior o igual a 55°C, ni gases combustibles licuados y comprimidos, acetileno o carburo de calcio.

Serán transportados en recipientes metálicos cerrados y almacenados en nichos de mampostería provistos de puertas metálicas o en cámaras a prueba de incendio y explosión.

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

- d) Debería evitarse toda acumulación peligrosa de materias inflamables, tales como grasa o polvo de carbón, en cualquier lugar, - ya sea en el interior o en la proximidad de la mina y en particular cerca de los castilletes de extracción, en las construcciones de entrada de los pozos y donde esté instalado material o eléctrico. (1)

#### Máquinas e Instalaciones

- a) Las máquinas de toda índole deberían estar construidas y ser montadas, utilizadas y vigiladas de forma que se evite toda fricción o defecto que pueda provocar un recalentamiento peligroso.
- b) Los acoplamientos hidráulicos deberán estar provistos de tapones fusibles o de otros dispositivos que impidan eficazmente cualquier recalentamiento peligroso del aceite.
- c) Las instalaciones no deberán engrasarse con a ceite de punto de inflamación bajo.

Las instalaciones deberían estar dispuestas de tal forma que se elimine la electricidad estáti-

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

ca y estar vigiladas frecuentemente, a fin de detectar la presencia en forma oportuna. Debería prohibirse en el interior el empleo de motores de combustión interna, los motores Diesel.

#### Instalaciones a presión

- a) Todas las instalaciones que contengan o produzcan aire, gas o vapor a presión superior a la de la atmósfera deberían ser construídas, montadas, cuidadas y vigiladas de forma que se evite todo riesgo de incendio.
- b) No debería instalarse en el interior ninguna CALDERA de vapor u otra instalación generadora de vapor, salvo los aparatos de modelos a probados por autoridad competente. (1)

#### Aparatos de aire comprimido

- a) Los aparatos de aire comprimido, con excepción de los portátiles, manuales deberían estar provistos de:
  - Válvulas de aislamiento destinadas a impedir cualquier puesta en marcha extemporánea.
  - De sistemas de escape ideados de manera que reduzcan la velocidad de escape del aire.

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

- Aparatos que permitan impedir las proyecciones de aceite en un vasto radio.
- b) A fin de evitar las acumulaciones peligrosas de cargas electrostáticas, las tuberías, mangueras y otros aparatos que utilizan aire comprimido deberían ser puestos a tierra en forma adecuada, siempre que esta precaución parezca necesaria. <sup>(1)</sup>

#### Instalación de Desgasificación

- a) Los extractores no deberían ser instalados en el interior.
- b) Deberían instalarse corta llamas en los conductos antes y después de los extractores situados en la superficie.
- c) Las instalaciones de desgasificación en la superficie deberían estar equipadas con aparatos de análisis que permitan vigilar la concentración del grisú extraído.
- d) El extractor deberá detenerse automáticamente en cuanto el grisú baje a 30%. <sup>(2)</sup>

---

(1) y(2) Ver Bibliografía.Punto 9.6,

### Transportadores

- a) La infraestructura de los transportadores de cinta en galerías y soportes deberían ser de materiales incombustibles.
- b) La cabeza motriz de todo transportador de cinta de galería debería estar provista de un mecanismo que detenga automáticamente la marcha si la cinta se rompe, se atasca o patina con exceso.
- c) En la medida de lo posible, la cabeza motriz de todo transportador de cinta en galería debería llevar un sistema de parada automática en caso de recalentamiento peligroso de dicha cabeza.
- d) Cuando las cabezas motrices estén accionadas por aire comprimido, la tubería de alimentación debería estar provista de válvulas de volante de funcionamiento seguro, así como de una manguera que permita una rápida desconexión.
- e) Siempre que sea necesaria, deberían tomarse precauciones para impedir la acumulación peligrosa de cargas de electricidad estática en las cintas de los transportadores, por ejemplo empleando correas antiestáticas y lubricantes

antiestáticas.

- f) Debería quitarse constantemente de polvo de carbón a las cintas empleando medios tales como escobillas, rodillos vibratoras y ras-cadoras; y
- g) Los rodillos deberían hallarse constantemente libres de polvo de carbón y de toda obs-trucción que pueda provocar fricción.<sup>(1)</sup>

Soples, Ótiles de soldadura y lámpara de soldar

- a) En el interior de la mina no debería realizarse ningún trabajo que requiera un soplete para soldadura o una lámpara de soldar a menos que:
  - a.1) Cuando no hay peligro de grisú ni de polvo de carbón en el lugar donde se efectuará los trabajos.
  - a.2) Cuando abundantemente se encuentran rociados con agua, alrededor dicho lugar de trabajo.
- b) En la proximidad inmediata del lugar de trabajo debería disponerse de suficientes aparatos y medios de extinción apropiadas; y

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

- c) Cuando se realicen trabajos en un pozo, deberían inspeccionarse detenidamente los enganches, estén ser servicio o no y la caldera del pozo.

### Lámparas

- a) No deberían utilizarse lámparas de llama abierta en el interior, pero en caso de usar aún, deberá estar:
- a.1) La llama debe estar protegida o encerrada.
- a.2) Las lámparas no deberían ser abandonadas sin vigilancia.
- b) El personal empleado en la construcción de barreras contra incendios deberá estar provisto de lámparas de seguridad; y
- c) En las minas de carbón subterráneas, se utilizará obligatoriamente lámparas de seguridad de calidad comprobada. (1)

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.



Seguridad en la utilización de la electricidad en las labores subterráneas

Disposiciones Generales.

Todos los elementos de la instalación deberán cumplir:

- a) Ajustarse en su construcción a normas por lo menos equivalentes, desde el punto de vista de la seguridad, a las normas nacionales o internacionales adoptadas por la autoridad competente.
- b) Construirse, instalarse y conservarse de manera que no presenten peligro de incendio, de explosión exterior o de electrocución.
- c) Tener resistencia mecánica suficiente para poder soportar las condiciones de servicio en el interior de la mina.
- d) Resistir la acción del agua y del polvo, así como los efectos eléctricos, térmicos o químicos que deben soportar;
- e) Aislarse eficazmente, o encapsularse todos sus elementos desnudos bajo tensión o protegerse mediante otros procedimientos.<sup>(1)</sup>

(1) Bibliografía. Punto 9.6.

Límites de las tensiones

Las tensiones nominales de alimentación de los aparatos eléctricos no deberían ser superiores a los valores indicados a continuación:

CUADRO N° 5.3

## TENSIONES NOMINALES DE ALIMENTACION

A p a r a t o s	V o l t i o s
Aparatos fijos	12,000
Aparatos semifijos	7,200
Aparatos móviles (salvo los mencionados a continuación)	1,100
Tracción eléctrica con cable de contacto	650
Aparatos manuales, redes de alumbrado (salvo lámparas portátiles) y redes de señalización con conductores aislados.	300
Redes telefónicas	65
Redes de señalización con conductores desnudos y lámparas portátiles.	42

Fuente: Repertorio de Recomendaciones prácticas de la OIT, 1986.

Las tensiones superiores a 1,100 V deberían utilizarse únicamente en los pozos y galerías principales de arrastre; y las tensiones superiores a 7200 V deberían utilizarse únicamente en los pozos y en las inmediaciones de ellos.

Protección contra la alta tensión en las redes de baja tensión.

a) En los transformadores deberían tomarse precauciones para impedir en el circuito de baja tensión que pueda producirse a consecuencia de una derivación o inducción del circuito de alta tensión.

En estos casos deberán emplearse los siguientes procedimientos:

a.1) Puesta a tierra permanente de un punto del circuito de baja tensión.

a.2) Puesta a tierra automática del punto neutro del circuito de baja tensión, mediante un dispositivo conveniente, mientras persista el defecto.

b) La puesta a tierra de un cuerpo metálico intercalado entre los bobinados primario y secundario de los transformadores.

c) La interrupción automática de la alimentación del transformador en caso de elevarse la ten-

sión en el circuito de baja tensión.

Cualquier otro medio apropiado y seguro, será utilizado.<sup>(1)</sup>

Protección contra los contactos accidentales.

- a) Se deberá impedir todo contacto accidental - con los elementos de la instalación eléctrica cuya tensión sea superior a 42V y que no forman parte de un circuito de seguridad eléctrica, pueden ser:
  - a.1) Interponiendo obstáculos eficaces, que no se hallen al alcance del personal.
  - a.2) Protegiéndolos con envolventes y ais]ándolos.
- b) Las cubiertas, rejillas de protección y envolventes deberán ser de material incombustible, tener resistencia mecánica suficiente y estar sólidamente fijadas.

Protección contra sobrecargas y los cortocircuitos.

- a) Los aparatos utilizados en la protección contra las sobrecargas y los cortocircuitos deberán instalarse en el punto de arranque de los conductores de alimentación.

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6,

- b) En caso de cortocircuito en cualquier circuito, se debería cortar la corriente lo antes posible y automáticamente, mediante aparatos disyuntores o fusibles que tengan suficiente capacidad de ruptura, teniendo en cuenta, por una parte, los casos más desfavorables que puedan presentarse y, por otra, la selectividad en el disparo.
- c) La protección automática contra las sobrecargas deberían ser de tal sistema que puedan seguir en lo posible, la evolución térmica de los elementos que deben protegerse, con objeto de que el corte de la corriente se produzca antes de que los elementos llegen a una -- temperatura peligrosa.
- d) Todos los aparatos y conductores deberían ser fabricados, instalados, conservados y alimentados de manera que en servicio, no rebasen la temperatura máxima admisible. (1)

#### Protección contra incendio y explosión

- a) Deberá evitarse en lo posible el empleo de material combustible e inflamable para la construcción de locales o cámaras destinados a contener aparatos eléctricos,

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

- b) No debería almacenarse ninguna materia inflamable en anchurones, cámaras o compartimien-  
tos que contengan aparatos telefónicos de a-  
lumbrado o de seguridad contra el grisú.
- c) En el interior o en las inmediaciones de los  
anchurones, cámaras o compartimientos que con-  
tengan elementos en tensión deberían insta-  
larse, en cantidad suficiente y dispuestos -  
para su utilización, medios de extinción apro-  
piados para su uso en tales lugares.
- d) En caso de incendio provocado por un aparato  
eléctrico o que pueda alcanzar a una instala-  
ción eléctrica, se debería :
  - d.1) Cortar lo antes posible la alimentación  
del aparato.
  - d.2) Combatir el incendio lo antes posible y  
comunicar inmediatamente al vigilante más  
cercano. (1)

#### Protección contra las descargas atmosféricas

En todos los lugares necesarios deberían insta-  
larse pararrayos adecuados en la superficie pa-  
ra proteger las instalaciones del subsuelo con-  
tra las sobretensiones debidas a la electricidad  
atmosférica.

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

Protección contra los escapes

- a) En las redes de corriente alterna cuyo punto neutro esté conectado a tierra y cuya tensión exceda de 300 V debería instalarse sistemas eficaces para poner automáticamente fuera de tensión el circuito cuando la corriente de escape a tierra alcance:
- a.1) 15% de la corriente nominal de ese circuito; y
  - a.2) Amperios.
- b) En las redes de corriente alterna cuyo punto neutro esté aislado y cuya tensión sea superior a 300 V se deberían instalar sistemas eficaces para lograr uno de los dos tipos siguientes de protección:
- b.1) La desconexión automática del circuito cuando se produzca una falla monofásica peligrosa y, en todo caso, antes de que esta falla baje a cero.
  - b.2) El control permanente del aislamiento global de la red mediante un aparato insensible a las influencias capacitivas de esta red, a reserva de que este sistema proporcione suficiente seguridad y, en particular de que los cables flexibles

de alimentación de los aparatos móviles estén bien protegidos.

- c) Todo sistema de protección contra los escapes a tierra debería ser ideado de tal forma que se pueda comprobar, por lo menos parcialmente, su buen funcionamiento. (1)

### Ventilación

En todos los lugares donde están instalados aparatos eléctricos deberían disponerse de ventilación suficiente para enfriar convenientemente estos aparatos.

### Interruptores.

- a) En los circuitos de tensión superior a 42 V todo interruptor debería ser omnipolar.
- b) Los interruptores no deberán poder abrirse ni cerrarse accidentalmente por efecto de la gravedad o de choques mecánicos.
- c) En los armarios y cajas que contengan interruptores ser accesible ningún aparato con tensión superior a 42 V sin que antes ha quedado completamente sin tensión. (2)

---

(1) y (2) Ver Bibliografía. Punto 9.6.



### Fusibles

- a) Los fusibles deberán llevar una indicación clara de su corriente nominal y del tipo de ruptura (rápida o lenta) y, en lo posible - de su capacidad de ruptura.
- b) Los fusibles utilizados deberán ser de alto grado de seguridad o sea de alta sensibilidad, que al menor alteración en la línea debe producirse ruptura violenta.
- c) Los fusibles de un circuito de esta índole deberían ser accesibles únicamente a las personas autorizadas; y
- d) Deberían adoptarse medidas eficaces de protección para evitar que las personas que quiten o pongan fusibles corran peligro, entre otras causas, por cualquier elemento cercano en tensión. <sup>(1)</sup>

### Aparatos Portátiles

- a) Ningún aparato portátil debería alimentarse con tensión superior a 300 V.
- b) Las máquinas y aparatos portátiles o móviles deberían estar provistos de un interruptor incorporado.

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

- c) Las herramientas portátiles eléctricas deberían tener un interruptor incorporado que corte automáticamente la corriente cuando las manos del operador abandonen la herramienta.

### Alumbrado

1. Utilización de lámparas portátiles en el interior.
- a) Las lámparas portátiles deberían autorizarse únicamente con tensión inferior a 42 V.
- b) La utilización de lámparas portátiles debería reducirse a lo estrictamente necesario y limitarse a lugares tales como salas de bombas y talleres de reparación y conservación.
- c) Las lámparas portátiles deberán cumplir:
- Estar provistas de globos resistentes - de vidrio o de otro material transparente a prueba de siniestro.  
Debe ser de un material que no permite adherirse el polvo y el agua; y
  - Estar provistas de una rejilla resistente que proteja al globo.

## 2. Alumbrado fijo

- a) Las instalaciones de alumbrado fijo deberían tener bombillas o tubos incandescentes o fluorescentes alimentados con tensión inferior a 300 V.
- b) Las lámparas de alumbrado fijo empleadas en el interior deberían estar provistas de una envoltura o de un globo protector resistente, de vidrio o de cualquier materia transparente, a prueba de siniestro.
- c) Las lámparas de alumbrado fijo deberían construirse de manera que se pueda cambiar la bombilla o el tubo sin riesgo de descarga eléctrica, a menos que exista suficientes interruptores para cortar la corriente en todos los conductores de alimentación de la lámpara.

## 3. Alumbrado de frentes.

- a) El alumbrado de los frentes debería consistir en bombillas o tubos incandescentes o fluorescentes alimentados con tensión inferior a 300 V.
- b) Las lámparas de las redes de alumbrado de los frentes deberían ser:

- Sumamente sólidas.
- Adaptarse bien a las condiciones de utilización.
- c) Los componentes de las lámparas de alumbrado de frentes, especialmente los elementos de empalme de las bombillas o tubos, deberán ser especialmente sólidos y resistentes a los choques, de modo que se reduzcan los riesgos de cortocircuitos internos, a menos que se adopten disposiciones especiales -- contra estos cortocircuitos.
- d) Los empalmes de los cables a las terminales deberían librarse de todo esfuerzo mecánico exterior.
- e) Las instalaciones de alumbrado de frentes deberían alimentarse mediante un transformador reservado exclusivamente al circuito de alumbrado.
- f) Las lámparas deberían ponerse convenientemente a tierra y proveerse de un sistema apropiado de protección contra los escapes a tierra.
- g) El alumbrado de frentes no deberá excluir el alumbrado personal de cada minero. (1)

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

## Ultimos adelantos en la proteccion eléctrica

### 1. Cable a prueba de explosión.

El cable "Cabtire" diseñado a prueba de explosión previene accidentes por la acción de un relay diseñado para tal propósito, que actúa antes de que ocurra el corto circuito originado por la destrucción de la línea aislante, sea por impacto o compresión del cuerpo del cable.

### 2. Relay de tierra.

El nuevo relay equipado con transistores, muestra una alta precisión en la acción de abrir el circuito y facilita el hallazgo de los puntos de daños ocurridos al circuito.

### 3. Probador de cables

Los puntos de daños en el cable pueden ser localizados fácilmente y en forma precisa por el nuevo probador de cable, el que consiste en un transistor tipo oscilador y un sensor - Searchcoll.

### 4. Detector de Carro Minero Descarrilado.

El detector es un aparato que localiza de inmediato todo carro minero descarrilado en el inclinado y actúa automáticamente cortando el abastecimiento de energía de los cables previ

niendo así un desastre. (1)

### 5.2.3 Sistemas para protección en labores subterráneas.

Las cuantiosas pérdidas de vidas y bienes que ocasionan los siniestros, en la explotación subterránea de las minas de carbón, han obligado el constante estudio, investigación, empleo de nuevas tecnologías, mejora de métodos y sistemas para la protección contra incendio y explosión y extinción de los mismos.

Con la modernización de los diferentes sistemas de protección, se han logrado reducir al mínimo las pérdidas, lo cual justifica la efectividad y el grado de seguridad que ofrecen en la prevención para el control y lucha contra siniestros.

Los sistemas están previstos para todas las etapas del incendio y explosión, relacionadas entre sí, para que resulte eficaz en caso de presentarse una emergencia. (2).

(1) y (2). Ver Bibliografía. Punto 9.6.

### 5.2.3.1 Detectores

El poder contar con una buena instalación de detección automática o vigilancia humana (manual) es la medida preventiva más importante en la protección y lucha contra incendio y explosión. El sistema automático de detección puede estar dotado de varios tipos de detectores, según el tipo de materiales a controlar.

Cada tipo de detector aquí representado cumple con una misión específica de acuerdo con sus características. Una vez detectado el fuego transmiten la señal de emergencia a la central, en la cual una vez analizada su procedencia de la misma y comprobada su veracidad se transmiten las órdenes oportunas a los diversos sistemas previstos en la instalación.

Por lo general, estas instrucciones conectan la alarma en los lugares previstos, activan otras señales de emergencia en otras centrales repetidoras, se activan las instalaciones automáticas, y de acuerdo con el plan de actuación se pueden parar máquinas, activan redes eléctricas de emergencia, etc.

Por prevención debe colocarse una red de detección doble, por si alguno de los detectores pudie

ra fallar o enviar una señal falsa, lo cual se comprueba al activarse la segunda red de detección, al ser los detectores de diversas características de actuación cada uno registra un sistema diferente de detección, desde gases invisibles al ojo humano (detector iónico), hasta la llama (detector óptico) con lo cual todas las fases del incendio pueden estar controladas cuando se producen y advertidas a la central correspondiente. (1)

#### 1. Detector iónico

El detector iónico, es el tipo de detector más perfeccionado y eficaz, entre todos los sistemas automáticos de detección.

Cuando se inicia la combustión, normalmente se desprenden gases, humos no visibles al ojo humano pero que sí alteran las condiciones ambientales del lugar donde ocurre la combustión.

Estas condiciones son las que determinan que el detector lance su aviso de peligro a la central.

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.



El detector iónico se compone fundamentalmente de dos cámaras separadas entre sí; ambas cámaras están constantemente ionizadas por una fuente de material radioactivo (Amencio 241) situada en la cámara interior o de referencia.

Esta atmósfera ionizada al aplicarle una tensión entre las cámaras crea una débil corriente de iones que en condiciones normales idéntica en ambas cámaras manteniendo el potencial medio constante.

Cuando se produce el desprendimiento de gases o humos por la combustión y estos llegan al detector penetrando en la cámara exterior chocan con la corriente de iones, impidiendo así su movimiento al hacer que las partículas sean más pesadas, con lo cual se produce un desequilibrio entre las dos cámaras aumentando el potencial - disparándose el circuito electrónico que transmite la señal de alarma a la central.

Las características de los diferentes tipos de detectores iónicos; son similares, se alimentan con corriente continua entre 15 y 24 V y pueden trabajar a temperaturas comprendidas entre  $-10^{\circ}\text{C}$  y  $+50^{\circ}\text{C}$ .

La radiación del material de la fuente radioactiva es en forma de rayos alfa y gamma blandos. El campo de los rayos alfa es muy corto, aproximadamente unos 4 cm. por lo cual no pueden pasar de la cámara exterior y solamente son emitidos por el aparato los rayos gamma blandos, cuya radiación ha sido controlada en la fabricación del aparato no dando un valor mayor de 1.5 microcuries por hora a una distancia de 5 cm desde la superficie del aparato, este valor lo hace ser inofensivo por estar debajo de la radiación normal del ambiente admitida y que está estimada en 5 microcuries por hora.<sup>(1)</sup>

a) Sensibilidad

Estos detectores salen ajustados de fabricación con una sensibilidad determinada, considerada como normal para una buena detección. Como esta sensibilidad es difícil de medir, se comprueba eléctricamente con un aparato adecuado, el voltaje normal es de 4 V con una tolerancia de  $\pm 0.4$  V a 20° C.

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

Para aumentar esta sensibilidad hay que proceder a sustituir la fuente radioactiva interior montada sobre una clavija roscada de 10 mm por otra especial de 2mm. Este cambio de longitud produce una variación en el voltaje dejándolo a 3.3 V aumentando la sensibilidad en un 40%.

#### b) Instalación

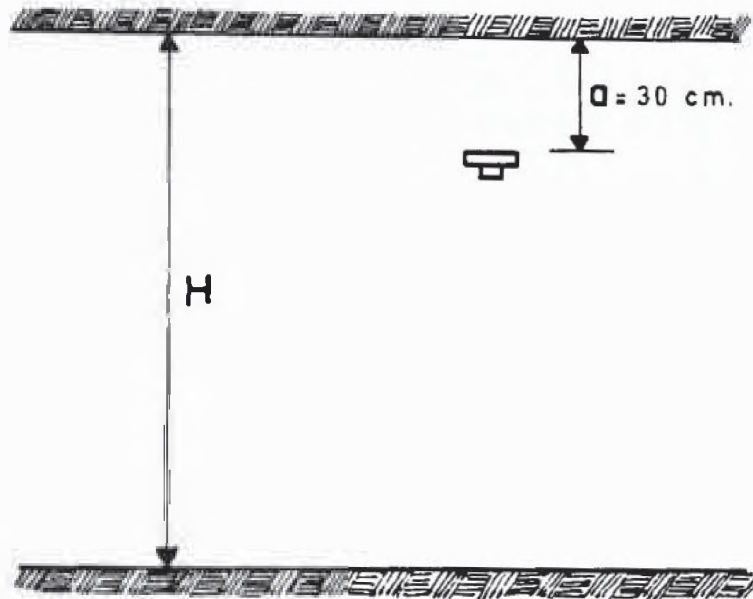
La instalación de detectores responde a las necesidades y características de la mina -lugar- a proteger, considerando la altura, forma del techo, dirección de la corriente de aire y cambio de dirección.

Cuando se instalan bajo techos planos, el detector debe quedar montado de manera que el fondo de la tapa no quede a más de 30 cm por debajo de la superficie del techo.

Se aconseja instalar un mínimo de un detector por cada 150 m<sup>2</sup> de techo, aunque en algunos casos esta cifra puede ser pequeña o grande según las circunstancias.

No es muy recomendable para ambientes con alto contenido de polvo de carbón, puede producir falsas alarmas.

INSTALACION DE DETECTORES



H = ALTURA ENTRE CAJA PISO Y CAJA TECHO

El área detectada, como es lógico, viene en función de la altura de la instalación pudiendo considerarse que para una altura de 4 mts. se cubre un área de  $150 \text{ m}^2$  con una altura entre 4 y 8 mts. va de  $150 \text{ m}^2$  a  $75 \text{ m}^2$  y entre 8 a 20 mts. la mínima superficie vigilada queda en  $40 \text{ m}^2$ .

Hay que tener en cuenta también, al determinar la situación del detector, el preveer el acceso al mismo para su mantenimiento y pruebas de comprobación. (1)(2)

## 2. Detectores de tipo termovelocimétrico

Estos detectores se basan en el principio del aumento de la presión del aire por el aumento de la temperatura. Están diseñados de manera que mientras el aumento de temperatura sea menor de  $2^\circ \text{C}$  por minuto, la diferencia de presión es compensada por la cámara interior en comunicación con el aire exterior, pero en cuanto dicha temperatura aumenta en una velocidad superior a los  $2^\circ \text{C}$  por minuto, la presión aumenta poniendo en situación de alerta al detector que normalmente suele ser de  $70^\circ \text{C}$ .

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

(2) Ver Bibliografía. Punto 9.7

Este tipo de detector cubre normalmente un área de  $80 \text{ m}^2$  con un voltaje de alimentación entre 15 y 24 V. (1)

### 3. Detector tipo óptico para humos.

Se compone normalmente de una cámara estanca a la luz exterior en el interior de la cual - va montado un diodo emisor de luz con su célula fotoeléctrica de manera que la luz emitida por el diodo no llegue a la célula si no es - por refracción de la luz sobre las partículas de humo que penetran en el detector, en cuyo momento la luz reflejada alcanza la célula fotoeléctrica activando el circuito de alarma. Son muy adecuados para materiales que pueden arder sin llama, pero que desprenden humo en cantidad. El voltaje de alimentación es de - 15 a 24 V con un área aproximada de cobertura de  $80 \text{ m}^2$ . (2)

### 4. Detector óptico de llama

Su funcionamiento es a través de una célula fotoeléctrica situada en el exterior del mismo

(1) Ver Bibliografía. punto 9.6.

que capta las radiaciones de rayos infrarrojos que emite el incendio. Para evitar falsas alarmas producidas por emisiones de puntos caloríficos normales como son calefacción alumbrado, etc., la señal que emite la célula al captar las radiaciones es analizada por un circuito electrónico que rechaza las que no son emitidas por una llama oscilante de 5 a 10 Hz en cuyo caso procede a dar la alarma. Todos estos detectores van provistos de un indicador luminoso que señala exteriormente que están activados, emitiendo la señal de emergencia hacia la central receptora.

##### 5. Centrales de señalización y control.

La central está preparada para trabajar con corriente con corriente alterna monofásica para su alimentación, al mismo tiempo que lleva incorporadas baterías de 24 V para casos de emergencia que se conectan automáticamente en caso de fallo de la red y señalizándose en los mandos este cambio.

Dá la indicación de alarma de forma visual - por un piloto rojo y acústico por un zumbador

disponiendo también de indicadores de avería en los detectores, fallo de tensión, corte acústico y borrador manual y automático de alarmas, indicador de servicio, pulsador para comprobación de circuitos de alarma.

Desde la misma se pueden enviar señales de acción o de alarma a toda clase de sistemas, como son timbres de alarma, señales ópticos, puesta en marcha de sistemas automáticos de extinción, paro o puesta en marcha de equipos especiales, etc. Estas centrales se fabrican normalmente en equipos normalizados que permiten su agrupamiento, con lo cual se pueden cubrir amplias zonas de instalación al disponer de mayor número de canales de llegada de señal.

Estas centrales pueden trabajar a temperaturas comprendidas entre  $-10^{\circ}\text{C}$  y  $60^{\circ}\text{C}$ , lo cual les da un amplio margen de seguridad de funcionamiento.

En la instalación de estas centrales hay que asegurarse que las conexiones eléctricas de conductores están bien hechas y aseguradas para evitar posibles fallos, asimismo vigilando que no se efectúen otras conexiones en los circuitos de los detectores que podrían dañarnos



y falsear su trabajo.

Las centrales deben estar en todo momento en buen estado de servicio, para lo cual hay - que efectuar un mantenimiento regular preventivo de comprobación de circuito, conexiones, etc. (1)

#### 6. Mantenimiento y verificación de detectores

Para asegurar un buen servicio de detección - es necesario un mantenimiento regular y correcto de la instalación, comprobando el funcionamiento de la misma.

Debe fijarse una norma de vigilancia que normalmente suele ser una inspección regular cada mes, en la cual debe comprobarse que los detectores estén bien sujetos y sin daños, que las superficies de las tapas estén limpias sin depósitos de polvo, vapores de aceite, etc., en cuyo caso hay que limpiarlo inmediatamente y organizar limpieza más periódica.

Comprobar que los materiales a vigilar son los previstos y no hay alteraciones que puedan afectar al sistema detector instalado, como pueden ser productos que generen gases, etc,

---

(1) Ver Bibliografía. Punto. 9.6.

Cada tres meses es conveniente efectuar una inspección de funcionamiento de los detectores con fuego real. El detector, aplicándose esta prueba, debe funcionar correctamente, transmitiendo la señal a la central e indicando su funcionamiento por su luz incorporada; en caso contrario hay que desmontar para proceder su comprobación.

Periódicamente también es necesario comprobar que el detector conserva su sensibilidad y ajuste, para lo cual se desconectará de la instalación y se procederá a su comprobación eléctrica por medio de aparatos destinados para estos fines. Con este aparato se comprueba que el detector esté dentro de la medida de sensibilidad para un trabajo correcto, sino da el voltaje de origen, 4 V con una tolerancia de más o menos 0.5 V debe procederse a una limpieza escrupulosa del mismo por todo el interior de la cámara exterior con un trapo de algodón humedecido en alcohol para desprender los depósitos de polvo y suciedad.

Una vez limpio y montado se comprueba de nuevo y debe funcionar correctamente. (1)(2)

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6

(2) Ver Bibliografía. Punto 9.7

### 5.2.3.2 Agua contra incendio

El agua es de vital importancia para el ataque de incendios y explosiones en una mina de carbón de explotación subterránea, se usa como agua a presión, pulverizada, para la formación de espuma química, etc. Actúa como medio enfriante eficaz.

#### 1. Componentes fundamentales del sistema de agua.

Los sistemas de agua contra incendio principalmente comprende de las siguientes partes:

##### a) Fuente de abastecimiento de agua.

La fuente de agua pueden ser:

Naturales: de uso directo, por ejemplo ríos, lagunas, puquiales, etc. y

Artificiales; como por ejemplo estanques, represamientos, pozos de agua subterránea, construcción de tanque de almacenamiento, etc.

Estas fuentes de abastecimiento deben garantizar en volumen y presión de descarga, que permita hacer frente a la emergencia más grave que pudiera producirse en la mina. La proyección de fuentes por prevención estarán dotadas para esas condiciones.

## b) Equipos de bombeo

Los equipos de bombeo, garantizarán en proporcionar agua con presión de descarga o salida adecuada, de acuerdo con las necesidades y riesgos de incendio o explosión proteger en cada caso.

## c) Red de distribución de agua

La red de distribución de agua, está compuesta de una serie de tuberías interconectadas mediante una serie de accesorios, con las respectivas salidas en las áreas a proteger, para hidrantes y/o monitores.

## c.1) Hidrantes.

Son uno de los sistemas utilizados para facilitar las tomas de agua, previstas para la conexión de mangueras u otros accesorios. Estos hidrantes son básicamente unas columnas de salida de agua conectados a una red de suministro con sus correspondientes válvulas de accionamiento y varias salidas para diversas conexiones.

Estas salidas en la parte superior del cuerpo suelen ser dos de 70 mm de diámetro con racores normalizados para acoplamiento y una salida de 100 mm de diámetro para acoplamientos especiales con bridas.<sup>(1)</sup>

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

Diversos tipos de Hidrantes.

1. Hidrante con dos salidas.

Está dotada de dos salidas con racores tipo Barcelona que pueden ser de 45 ó de 70 mm de diámetro, además cada salida va equipada con una válvula de paso para poder utilizar cada salida a volumen. Los tapones de cierre están sujetos con cadenillas.

2. Hidrante con tres salidas.

Tiene tres salidas, dos de ellas dotadas de válvulas de accionamiento racores normalizados de conexión de 45 ó 70 mm de diámetro y la tercera con un diámetro de 100 mm ó de pulgadas con acoplamiento por bridas para accesorios especiales.

Deben construirse con materiales de calidad.

c.2\ Monitores.

Es un tubo con o sin tomas para mangueras, se adapta mediante una brida, una boquilla regulable chorro directo o niebla con un sistema que le permita girar 120° en el plano vertical y 360° en horizontal. (1)

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

## Tipos de Monitores,

### 1. Hidrante-Monitor.

Consiste básicamente en una columna hidrante, con todas las características propias de estas instalaciones, a la cual se le añade un accesorio llamado monitor.

Este monitor consiste en una lanza de gran potencia, como un cañon, con un recorrido articulado que le permite alcanzar cualquier punto dado su giro de 360° sobre su eje y la inclinación de 135° que tiene su recorrido le permite poder atacar la base de las llamas.

El accionamiento de estos monitores se efectúa por medio de volantes que actúan sobre cremalleras y ruedas dentadas, asegurando el mantenimiento de la posición adoptada al dirigir el chorro de agua sobre el incendio o explosión, dada la presión de salida de la misma por la lanza del monitor. (1)

### 2. Monitor portátil

Este tipo de monitores pueden apoyarse sobre el suelo por medio de unos soportes que -

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

se despliegan, dándole una mayor base de apoyo para aguantar la presión de salida del agua por la lanza.

El cañón de salida, sobre el cual se coloca la lanza adecuada, tiene un ángulo de abatimiento de  $145^\circ$ , para poder lanzar el agua en diversas posiciones.

Dispone de una asa, situada en sentido contrario al abatimiento del cañón, que facilita su transporte y al mismo tiempo asegura el manejo del monitor, ayudando a mantenerlo en la posición adecuada cuando está trabajando.

La alimentación de este monitor se efectúa por mangueras que pueden conectarse al mismo por su parte inferior a través de su racor correspondiente.

## 2. Equipos y accesorios complementarios.

Para operar el sistema de agua contraincendio requiere de varios equipos y accesorios complementarios, se describen a continuación los principales.

### a) Puestos de incendio

La denominación de puesto de incendio corresponde también con la de equipo de manguera

instalada.

Los equipos de manguera normalizados han de estar compuestos por una válvula de globo, - con su correspondiente manómetro de comprobación, manguera montada sobre devanadora y su lanza correspondiente.

Todo equipo debe estar alojado en un nicho - rectangular de 80 x 60 x 25 cm protegido por su tapa y cristal correspondiente.

Este conjunto debe estar conectado a una red de alimentación, de manera que siempre existe presión de agua en su interior o en caso contrario sea fácil el suministro de la misma o del agente extintor que se crea adecuado.

La normalización prevé que no se deben instalar más de cuatro puestos por cuartel (taller) alimentados por la misma columna principal, - siendo el diámetro del ramal de 50 mm, cuando sean dos los puestos instalados y de 65 mm, - cuando sean tres o cuatro.

La manguera de estos puestos está unida a la válvula por medio de racor, así como la lanza de la misma también por racor para en caso - necesario, poder prolongarla, sustituirla, etc con rapidez para la acción.



En ocasiones, además de los puestos normalizados de equipos de mangueras, se complementan instalando en sus proximidades equipos - extintores con otros agentes, hachas y mangueras de repuesto; todo ello con la finalidad de centralizar los equipos en un lugar conocido, de fácil acceso y visibilidad para casos de emergencia.

Esta manguera está acoplada a la red general por medio de su racor correspondiente, así como la válvula de apertura necesaria.

#### b) Mangueras

Las mangueras son elementos flexibles, que una vez conectadas a las tomas correspondientes, permiten el lanzamiento del agente extintor sobre el incendio.

Las mangueras deben estar equipadas con racores de conexión normalizados que, según el tipo, suelen ser de 45 ó de 70 mm de diámetro, colocados cada uno en un extremo de la misma. Su longitud oscila entre 15 y 30 mts., debiendo soportar una presión de servicio de 15 kg/cm<sup>2</sup>, con un margen de seguridad 1:3; la presión de rotura debe ser superior a los 45 kg/cm<sup>2</sup>. Las mangueras dotadas de recubrimiento interior de neopreno de caucho sintético de doble

grosor pueden aguantar una presión de trabajo del orden de 25 a 30 kg/cm<sup>2</sup> y una alta resistencia a la abrasión y a la corrosión.

Las mangueras son generalmente de 1 1/2 ó 2 1/2 pulgadas de diámetro nominal, con conexiones de bronce cuyas cuerdas tienen 9 a 7 1/2 hilos de pulgada respectivamente.

En cada uno de los extremos llevan conexiones de bronce, una hembra y la otra macho para acoplarlas entre sí o a otros equipos. <sup>(1)</sup>

c) Devanadora para mangueras.

Para una buena utilización y conservación de las mangueras es necesario el uso de devanadoras que permiten un correcto enrollado y desenrollado según las necesidades del servicio.

Este conjunto está diseñada para mantener la manguera en servicio, a pesar de estar montada en la devanadora, hay una conexión por el interior del eje de la misma que permita la alimentación de la manguera y su enrollado **sobre** la misma.

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

Se fabrican con capacidades desde 20 a 60 mts., efectuándose el bobinado a mano o también eléctricamente con un motor reductor - que actúa sobre el eje de la devanadora.

d) Boquillas.

Estos accesorios se utilizan acoplados las mangueras, para dirigir y dar mayor alcance de agua. Existen dos tipos: de chorro directo y las regulables de chorro niebla.

El empleo de un tipo u otro, depende de la clase de incendio: para incendio de clase A se debe combinar el uso de chorro directo con niebla, mientras que para los incendios B se deberá utilizar únicamente niebla.

Se recomienda usar niebla para proteger y aislar los equipos cercanos al incendio, evitando la propagación de éste, por el calor de radiación. (1)(2)

e) Lanzas

Para poder dirigir el agua sobre el incendio o explosión en la forma y proporción necesaria, en el extremo de las mangueras, monito

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

(2) Ver Bibliografía. Punto 9.7.

res, etc., se colocan unos accesorios llamados lanzas que permiten efectuar esta operación.

Existen varios tipos de lanzas de acoplamiento rápido o para hacer acoplamientos fijos - en mangueras y otros accesorios en caso necesario.

Son las siguientes:

- a) Lanza sencilla para proyección de agua en chorro normal.
- b) Lanza para efectuar el lanzamiento del agua en forma pulverizada o como un frente de lluvia con lo cual el poder de absorción del calor es mucho mayor y se consigue un efecto superior sobre el incendio, pues también produce mayor vapor, con lo cual favorece el ahogo del siniestro por falta de oxígeno.
- c) Lanza que puede cambiar los efectos de chorro pleno y de agua pulverizada por medio de un mando en el extremo de la misma que permita regular el paso del agua de una situación a la otra, según la necesidad - del momento de acción sobre el incendio o explosión; y

d) Lanza de varios efectos.

A chorro pleno, medio chorro, chorro pulverizado, cuyo mando se efectúa por la palanca posterior que actúa sobre un mecanismo interior que regula el paso del agua hacia la salida; las conexiones pueden ser: por el sistema Storza, se puede acoplar por racores Barcelona o también roscados.

f) Accesorios

Son los que sirven para diversos tipos de acoplamientos o uniones de mangueras, piezas y otros elementos del sistema de agua contra incendio.

Los tipos de accesorios más utilizados son los siguientes:

- a) Para el acoplamiento entre dos racores de unión tipo Barcelona, fabricados en diámetros normalizados de 45 y 70 mm. Este tipo de accesorio es llamado rápido, puede empalmarse muy rápidamente por constituir su unión con otro por medio de tres piezas en ángulo que se enganchan entre sí y manteniendo la presión entre ellas por medio de sus juntas.

- b) Válvula de barril, con salida inclinada y sobre la cual hay adaptado un racor tipo Barcelona en sus medidas normalizadas de 45 y 70 mm. Se usan estas válvulas en puestos para incendios, finales de columna, lugares donde se prevea una posible conexión de mangueras, etc.
- c) Sistema Storzo, en el cual las lenguetas de conexión quedan en el interior del empalme protegidos por sus mismas envolventes. Se fabrican también en 45 y 70 mm de diámetro y sus conexiones a las mangueras o accesorios pueden ser de tipo rápido o roscados para adoptarlo a válvulas, etc.
- d) Bifurcación de conexión por sistema Storzo, sin válvulas de cierre, donde se aprecia el sistema de las dos lenguetas interiores.
- e) Bifurcación de salida doble, con mando por válvulas de volante y con acoplamientos Storzo.
- f) Bifurcación de salida triple con válvula de esfera, también con racor Storzo: todas estas bifurcaciones se fabrican en los diámetros normalizados de 45 y 70 mm asegurándose la es

tanqueidad con sus correspondientes juntas.

- g) Racord Reductor, sirve para que en algunas ocasiones se pueda efectuar reducción de diámetros para poder conectar otros aparatos con conexión por un lado a 70 mm y por el otro a 45 mm con lo cual se pueden conectar las dos medidas.
- h) Codos giratorios, sirve para efectuar conexiones sobre bocas de incendios, tipo antiguo que no permiten una buena manipulación, que la conexión sea directa sobre la toma de agua y en su extremo superior un racord rápido para la conexión de mangueras u otros accesorios.
- i) Racord tipo Barcelona, sirve para observar en detalle la forma y posición de las piezas de ensamble con su pareja, situada triangularmente sobre el diámetro de la unión.
- j) Conexión Siamesa, dispone de dos salidas formando un ángulo de  $60^\circ$ , equipadas con válvulas de esfera para apertura y cierre de las mismas de manera independiente.

Estas bifurcaciones van equipadas con racores tipo Barcelona, en la entrada y salida de las mismas, en las medidas normalizadas de 45 y 70 mm.

Los racores van roscados sobre el cuerpo de la válvula, lo cual le permite en caso necesario susti -

tuirlo por accesorios roscados para ser instalados en las bocas de toma de columna seca. Se fabrican en aluminio y bronce, para un diámetro de paso de 35 mm los caudales que suministran con relación a la presión son las siguientes:

CUADRO N° 5.4

CAUDALES CON RELACION A LAS PRESIONES

PRESION Kg/cm <sup>2</sup>	LTS/MINUTO
2	1135
4	1613
6	1976
8	2281
10	2555
12	2794
16	3017
16	3227

Fuente: Manual de Instalaciones Contra Incendios.  
Por Octavio Blanes.



Estos caudales dependen de la fuente de suministro, sin la cual no es posible cumplir estos datos.

k) Pistolas difusoras

Es un accesorio utilizado dentro de los equipos de primeros socorros en la lucha contra incendio, pistolas difusoras para agua. Se conectan por medio de un racord roscado a la manguera correspondiente y con una alimentación suficiente de agua pueden descargar hasta 125 lts/minuto bajo una presión de 10 a 30 kg/cm<sup>2</sup>. Estas pistolas están dotadas de un sistema regulable que les permite lanzar el agua desde un chorro compacto y regularlo hasta llegar al chorro pulverizado formando un cono de unos 60°.

El alcance suele estar entre 4 y 15 mts. según el regulado del chorro de salida, lógicamente con un chorro más compacto el alcance es mayor. Esta regulación se efectúa por el casquillo de maniobra situada en el extremo de la pistola girando de derecha a izquierda hasta encontrar la posición deseada,

Estas pistolas se construyen normalmente en latón y acero inoxidable para resistir la ac-

ción corrosiva del agua. (1)(2)

g) Motobombas

Las motobombas son muy necesarios en la lucha contra incendios, ya que permiten la aspiración e impulsión del líquido o agente extintor, dándole la presión necesaria para su lanzamiento.

Las motobombas principales son:

a) Motobomba de construcción sencilla y robusta.

Este grupo se compone de un motor de dos tiempos, con una potencia máxima de 11.5 CV a 5000 rpm, que le permite accionar una bomba centrífuga con turbina de bronce cuyas características son las siguientes:

- Toma de aspiración de 70 mm (2 3/4")
- Salida de 70 mm con válvula de compuerta y racord.
- Caudal máximo de 40 m<sup>3</sup>/hr a una presión de 3 kg/cm<sup>2</sup>.
- Presión máxima 8 kg/cm<sup>2</sup> y
- Presión de trabajo, 6 kg/cm<sup>2</sup>.

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

(2) Ver Bibliografía. Punto 9.7

Este grupo puede alimentar una manguera de 70 mm (2 3/4") de diámetro o por medio de una bifurcación de 45 mm de diámetro simultáneamente.

Este grupo tiene un peso de 90 kg y lleva incorporado un depósito de 1ts. de capacidad que le da una autonomía de horas aproximadamente.

b) Motobomba de mayor potencia.

Este equipo dispone de un motor de cuatro cilindros, cuatro tiempos con una potencia de 34 CV a 3600 rpm, el cual acciona una bomba centrífuga de alta presión de dos rodetes.

El caudal de la bomba es de 800 lts/minutos para .5 metros de altura de aspiración geodésica y 80 metros de altura de elevación.

Lleva incorporado un generador eléctrico que alimenta una lámpara de neón en el tablero de mandos y un faro extensible para iluminación general.

Su presión de trabajo está entre 6 y 8 kg/cm<sup>2</sup> pudiendo alimentar dos mangueras con su bifurcación correspondiente de manera simultánea.

Todo el conjunto está montado sobre un bastidor con asas plegables delante y detrás del conjunto que ayudan al transporte y colocación del grupo.

Todo el conjunto con su tanque de combustible lleno le da una autonomía de dos horas y tiene un peso aproximado de 200. kg. (1)

#### 5.2.3.3 Rociadores Automáticos

Los rociadores automáticos, han demostrado ser los medios fijos, más ampliamente usados, confiables y efectivos en la protección contra incendio. Los rociadores automáticos eliminan los errores, retrasos humanos y evita la exposición directa y riesgo de su vida del hombre, en el ataque del incendio y explosión.

Operan de acuerdo con la necesidad, en la vecindad o lugar del incendio y descargan la cantidad de agua necesaria finamente dividida con mucha efectividad.

Son más efectivos que los chorros de agua dirigidos por mangueras, desde el exterior o a través de densos humos.

El agua de los rociadores extingue el siniestro, en sustancias de alta temperatura de inflamación

como: el gas grisú y polvo de carbón, mediante su rápido enfriamiento por debajo de esta temperatura.

Previene la propagación del siniestro, reduciendo su intensidad y enfriando los lugares inmediatos al incendio, evitando que el material combustible se prenda o explote . (1)(2)

### 1. Sprinklers

Dentro del grupo de instalaciones fijas contra incendio un sistema, considerado de gran eficacia, es los sprinklers.

Este sistema consiste en una red de conducciones de agua sobre las cuales, siguiendo una distribución estudiada de antemano, se han colocado unos puntos fijos de descarga de agua con unos accesorios especiales llamados rociadores o sprinklers.

Estos rociadores son unas válvulas especiales diseñadas para distribuir el agua en forma de lluvia y se accionan automáticamente al llegar la temperatura ambiente a un valor determinado.

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

(2) Ver Bibliografía. Punto 9.7

Los tipos normales de fabricación de estos rociadores son:

Tipo montante, tipo colgante y tipo de pared siendo la diferencia entre ellos la forma de instalación y el tipo de deflector montado en cada uno.

El funcionamiento de estos rociadores es muy simple, cada uno de ellos está dotado de una parte fusible a una temperatura determinada, cuando el calor producido por el incendio o por los efectos térmico-mecánicos de las explosiones, alcanza esta parte fusible y se sobrepasa el punto de fusión del fusible éste se desprende dejando en libertad la palanca que mantiene el tapón de cierre en su sitio. La presión del agua en el interior del circuito hace el resto, abre el tapón y sale al exterior chocando con el deflector cuya misión es diseminar el agua sobre el fuego en forma de lluvia para un mejor efecto de extinción. Los tipos de fusible más utilizados son los de placa soldada o de ampolla. El tipo de placa es el de una placa soldada sobre una leva apoyada entre el deflector y el tapón, al fundirse la soldadura cesa la presión sobre el tapón

y éste se abre. El tipo de ampolla consiste en un pequeño recipiente de vidrio especial conteniendo un líquido de bajo punto de ebullición y situado también entre el deflector y el tapón.

Al dilatarse el líquido por el efecto del calor aumenta la presión interior rompiéndose la ampolla con lo que el tapón queda libre abriéndose.

a) Código de colores.

Para poder identificar la temperatura a la cual está tarado el rociador se ha adaptado un código en colores: (Ver C-5.5 y 5.6).

CUADRO N° 5.5

PARA LOS SPRINKLER DE PLACA SOLDADA

C O L O R	TEMPERATURA
Negro	57 °C
Incoloro	74 °C
Blanco	100 °C
Azul	141 °C
Amarillo	182 °C
Rojo	227 °C

Fuente: Manual de Instalaciones contra Incendio  
Octavio Blanes, 1980.

CUADRO N° 5.6

## PARA SPRINKLERS TIPO AMPOLLA

COLOR	TEMPERATURA
Naranja	57°C
Rojo	68°C
Ámbar	79°C
Verde	93 - 110°C
Azul	141°C
Malva	182°C
Negro	204 - 260°C

Fuente: Manual de Instalaciones contra incendio  
Octavio Blanes, 1980.

En muchos tipos de instalaciones de rociadores, éstos deben quedar lo más disimulados posibles, para lo cual la red de tuberías debe quedar invisible y sólo las cabezas de los rociadores asomarán a ras del techo de la galería de la mina.

El rociador va montado sobre un ramal o derivación de la distribución, estos casos deben



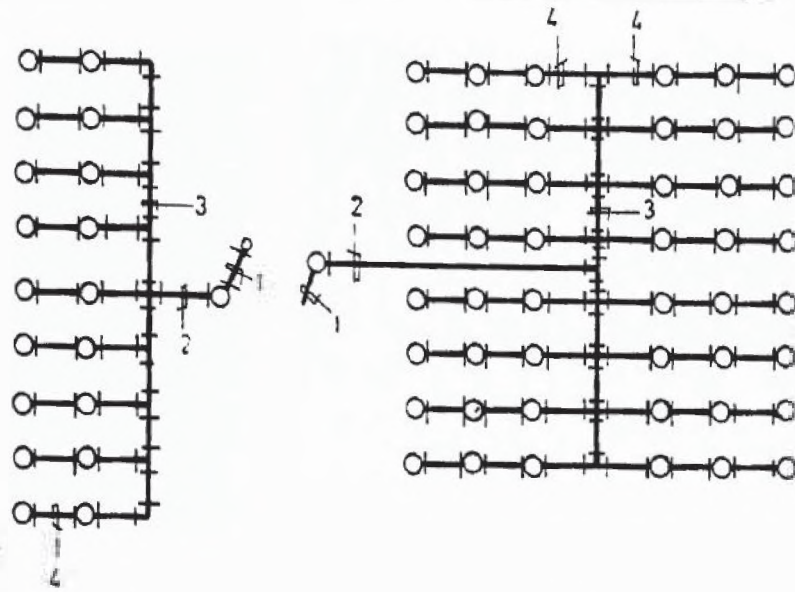
estudiarse según las características del local a proteger y como se desee la distribución de los rociadores de acuerdo con las conducciones principales .

b) Distribución de rociadores Sprinklers.

La distribución de los rociadores en los lugares a proteger puede tener diversas variantes, las que vemos en la gráfica 5.3. Los signos de las siguientes denominaciones :

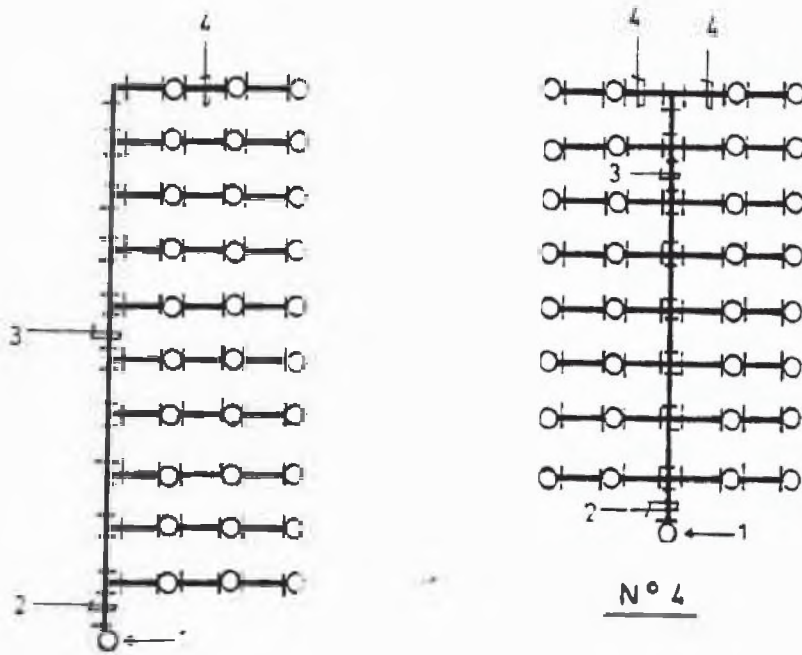
1. Conducción ascendente principal.
2. Conducción de alimentación.
3. Conducción de distribución.
4. Conducción de rociadores.

DISTRIBUCION DE ROCIADORES



N° 1

N° 2



N° 3

N° 4

LEYENDA

- 1 ---- CONDUCCION ASCENDENTE PRINCIPAL
- 2 ---- CONDUCCION DE ALIMENTACION
- 3 ---- CONDUCCION DE DISTRIBUCION
- 4 ---- CONDUCCION DE ROCIADORES
- O ---- ROCIADORES

En la Figura N°1, nos muestra en esquema simple en el que la alimentación principal está situada en el centro de la distribución de rociadores.

En la Figura N° 2, la alimentación principal sigue estando en el centro pero al tener un mayor número de rociadores para alimentar, las conducciones de distribución y alimentación deben llegar al centro de la instalación y - desde allí ramificarse hasta las conducciones de rociadores.

La normalización de estas instalaciones indica que sobre las conducciones de alimentación y distribución no se montarán rociadores, éstos deben montarse en sus propias conducciones y no sobrepasar el número de cuatro en la misma línea o ramificación.

Asimismo las conducciones de distribución no deben sobrepasar una distribución mayor de 18 rociadores en total, cuando hay que sobrepasar este número hay que efectuar un estudio de distribución de conducciones.

Los diámetros de las conducciones de distribución viene dados en función del diámetro de

rociadores según el cuadro siguiente:

N° de rociadores	1-2	3	4-5	6-9	10-18
Diámetro en mm.	25	32	40	60	65

El diámetro de la conducción ascendente principal variará según la altura a alimentar partiendo de un mínimo de 80 mm, asimismo la conducción de alimentación estará en función de los metros de recorrido partiendo en un diámetro mínimo de 65 mm.

Estas instalaciones de rociadores se efectúan normalmente con conducciones sometidas constantemente a presión de agua pero en ocasiones puede existir riesgo de heladas y en estos casos la instalación se llama de tipo seco ya que las conducciones desde el puesto de control a los rociadores que contienen aire a presión; en el momento que uno de los rociadores se acciona, al abrirse permite la salida del aire poniendo en servicio el puesto de control con la entrada de agua en las conducciones para la extinción del incendio.

Una vez terminada la acción se reemplazan los rociadores utilizados vaciándose las conducciones y nuevamente se introduce aire en las

mismas para quedar otra vez en servicio.

c) Equipo de alarma

En toda instalación de Sprinklers es necesaria la colocación por cada taller o grupo de rociadores de un lugar, un puesto de control también conocida como equipo de alarma.

La misión de este puesto de control es la de mantener a presión toda la red de tuberías - que alimentan al grupo de rociadores de este puesto y al mismo tiempo dar la alarma en el momento en que alguno de sus rociadores - se ponga en funcionamiento.

Las partes principales que componen este equipo de alarma y control son las siguientes:

1. Válvula de retención.
2. Manómetro
3. Cámara de retardo
4. Motor hidráulico
5. Válvula de drenaje
6. Válvula auxiliar
7. Presostato

El puesto de control funciona de la siguiente forma: a través de la válvula de retención el agua alimenta todo el circuito de rociadores manteniendo la presión en el interior del mismo por medio de su clapeta en posición de ce-

rrado. Esta presión se comprueba por el manómetro situado en la parte superior de la válvula citada, como pueden existir pequeñas fluctuaciones de la presión entre el circuito de los rociadores y el de alimentación, entre las dos cámaras de la válvula de retención principal se efectúa conexión tipo by-pass con su válvula de retención para poder compensar estas diferencias sin tener que accionar la válvula principal, evitándose casi falsas alarmas.

A pesar de esta precaución, en ocasiones estas fluctuaciones de presión son capaces de levantar ligeramente la clapeta de la válvula dando paso a una pequeña cantidad de agua entre los casquillos de cierre; para evitar que este flujo pueda producir la alarma accionando el motor hidráulico, se han previsto unas pequeñas salidas para la misma, por la cual el agua llega a la cámara de retardo y desde allí es evacuada al desagüe principal. Cuando por motivo de un incendio, o una avería en el circuito, se accionan los rociadores, el cual de agua que pasa por la válvula es suficientemente importante para que siguiendo el circuito, llegue a la cámara de retardo

venciendo el sistema interior de la misma y llegando al motor hidráulico accione la alarma indicando que el circuito de extinción - está en funcionamiento. Para efectuar el paro manual de esta alarma es suficiente con cerrar la válvula auxiliar.

Para efectuar las comprobaciones periódicas que necesariamente deben hacerse del sistema la alarma hidráulica puede accionarse abriendo la válvula auxiliar y el agua seguirá el circuito señalando con la fecha accionando - la citada alarma; esta válvula debe estar siempre cerrada para evitar falsas maniobras y alarmas.

Cuando sea necesario proceder al vaciado de la instalación de rociadores se procederá a cerrar primeramente la entrada de alimentación de la red, que necesariamente debe estar colocada antes del puesto de control, y una vez cerrada se abre la válvula de drenaje y por su tubería correspondiente se produce el vaciado de la instalación. (1)(2)

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

(2) Ver Bibliografía. Punto 9.7.

## 2. Instalaciones fijas automáticas de espuma.

Las instalaciones fijas de acción contra incendio deben estudiarse de acuerdo con las características del material a proteger en función del agente extintor.

Uno de los agentes utilizados es la espuma física o mecánica, la cual actúa por inundación separando el incendio del oxígeno del aire de la mina, eliminando así la combustión por falta de uno de sus elementos esenciales.

Estas espumas se consiguen por medio de una mezcla de agua con un agente espumógeno lo cual origina el espumante que al recibir aire inyectado creando turbulencia origina la espuma o burbujas.

El agua al pasar por el hidroeyector o dosificador de emulsión, aspira del depósito del emulsor la cantidad del mismo estudiada en la instalación y cómo por su conducción correspondiente llega el momento generador en donde recibe el aire necesario para formar espuma que es vertida en el interior del taller, almacén o depósito en caso necesario, cuando los dispositivos de detección o de a-



lerta han solicitado para ahogar el siniestro.

Estas espumas sólo son adecuadas para actuar en incendios tipo A y B o sea sólido y líquido, sin riesgos de conducción eléctrica ya que estar compuestos por agua en su mayoría son altamente conductores; asimismo no pueden utilizarse sobre materias delicadas pues trabajan por inundación y dejan residuos que en muchos casos pueden perjudicar los materiales protegidos, por lo cual es necesario antes de utilizarlos estudiar las reacciones de la misma sobre materiales a proteger.

Estas espumas pueden ser de baja, media o alta expansión, con una relación que oscila desde 5:1 en baja expansión hasta 200:1 en las de alta expansión. Los agentes espumógenos pueden ser de varias clases, siendo las principales las siguientes:

Espumógenos no proteínicos, constituidos por albúminas, etc., y con incorporación de sales metálicas para darles resistencia térmica y mecánica.

Espumógenos proteínicos, compuestos por proteínas animales o vegetales hidrolizadas y -

con aditivos como los no proteínicos, Espumógenos fluoroproteínicos, compuestos como los proteínicos con adición de flúor, lo cual le da mayor efectividad contra incendio.

Existen más clases de espumógenos pero estos tres tipos son las variantes más comunes y aplicadas actualmente.

a) Generador móvil de espuma

El generador de espuma de tipo móvil, es transportable y colocado en un lugar necesario.

Estos aparatos se alimentan desde fuente de agua o de un coche contraincendio y por medio de una tubería flexible y un tubo de inmersión aspiran el producto espumador desde los bidones donde está contenido dirigiéndolo hacia la salida para ser lanzado al exterior.

La presión de alimentación de estos generadores debe estar comprendida entre 4 y 10 kg/cm<sup>2</sup>.

Según el tipo de generador utilizado y con un caudal de solución a 10 kg/cm<sup>2</sup> de presión y de 200 lts/minuto a 200 lts/minuto a 800 lts/minuto, se consigue un caudal de espuma

de 1.6 a 6.4 m<sup>3</sup>/minuto.

Estos generadores también pueden formar parte de un conjunto de distribución de espuma en una instalación fija. (1)

#### 5.2.3.4 Extintores

Son equipos portátiles o semiportátiles de lucha contra incendio.

1: Principios para la selección de extintores.

La selección de un extintor para una situación dada, depende de:

- a) El tipo de materiales combustibles presentes que pudieran incendiarse.
- b) La gravedad previsible de un posible incendio (dimensiones, intensidad y velocidad de propagación).
- c) La eficacia del extintor respecto al riesgo presente.
- d) La facilidad de empleo.
- e) El personal disponible para manejar el extintor y su capacidad física y reacciones psicológicas, influidas por el adiestramiento recibido.

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

- f) Las condiciones de temperatura ambiental y otras consideraciones atmosféricas especiales.
  - g) Adecuación del extintor a este medio ambiente,
  - h) Las reacciones químicas desfavorables previsibles entre el agente extintor y los materiales incendiados.
  - i) Los aspectos de seguridad operativa y de salubridad respecto al usuario durante los trabajos de lucha contra incendio y
  - j) Las exigencias de cuidados y mantenimiento que requiere el extintor.
2. Extintor apropiado para labores subterráneas.
- En los dispositivos legales incluidas en la Reglamentación del sector minas. En el Título segundo de la Tercera parte de la Ley Orgánica de Minería, en el Art. N°238, especifica claramente que no se podrá usar extintores químicos, cuyos gases nocivos pueden contaminar el aire de la mina. Por lo tanto, se descarta el uso de gas carbónico, los halogenados y en ciertos casos -rara vez- se usa polvo químico seco.

Los extintores apropiados para utilizar son de agua, fundamentalmente, en algunos casos espuma química, en forma muy limitada.

a) Extintores de agua.

El agua es lo más indicado, tanto por su bajo costo, por ser un elemento de apoyo a la producción, encontrándose en todas las áreas de trabajo y de ser de toxicidad nula. El empleo de extintor de agua normal o conductivos 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- debe colocarse un extintor de agua. De preferencia será de presurizada para su carga mediante manómetro y de material durable, de acero inoxidable o aluminio.

Su instalación debe ser en un lugar visible y que no estorbe el paso; llevará protección convenientemente construida, una caseta de madera para proteger de golpes, caídas de rocas, polvo y otros agentes dañinos el ambiente de la mina.

Extintor de agua del tipo de presión contenida.

Es un recipiente que contiene agua y un fluido que sostiene la presión, puede ser aire o nitrógeno.

Los extintores de espuma física.

Se producen mezclando un espumógeno con agua lo cual origina el espumante, añadiéndole aire con presión se obtiene la espuma y su presión necesaria para proyectarla.

Estas espumas se clasifican en baja, media y alta expansión, según el tipo de espumógeno utilizado y su relación con la espuma obtenida, permite establecer un coeficiente de 5:1 hasta 25:1 las de baja expansión; de 30:1 hasta 150:1, las de media y de 200:1 en adelante las de alta expansión llegando incluso en determinados tipos hasta 1000:1, lo cual las hace altamente utilizables para actuar por indicación en ambientes cerrados, etc.

b) Transporte de extintores.

En muchas ocasiones es necesario poder disponer de extintores gran capacidad, por ejemplo de 10, 45, 60 y 180 kg.; en cuyo caso el peso de los mismos es considerable por lo -

cual es necesario tenerlos montados sobre carros de fácil transporte. Este montaje requiere ya un carro bastante sólido con ruedas de diámetro y anchura adecuada para un transporte cómodo y eficaz.

### c) Cañones

Los cañones se utilizan cuando las características del fuego lo requiera, entonces es necesario utilizar medios de lanzamiento del agente extintor de mayor potencia, para ello hay que utilizar unos cañones lanzadores adecuados para cumplir esta función. Estos cañones se utilizan para agua y espuma física en la mayoría de casos indistintamente.

Su alcance varía de acuerdo al tipo de cañón, sin embargo, el rango está comprendido entre 45-70 mts., con una presión óptima de trabajo de 10 kg/cm<sup>2</sup> y un caudal de 20-30 m<sup>3</sup>/minuto.

Los cañones deben contar con una fuente de alimentación o depósito que les proporcione el agente extintor necesario para cumplir su misión con efectividad. <sup>(1)</sup>

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

### 5.2.3.5 Barreras de Protección

Son depósitos o locales del producto estéril extintor o polvo de roca sobre tableros (50-60 cm), instalados para contrarrestar la propagación de la explosión. La acción de las barreras consiste en que la onda de choque de una explosión vuelca la barrera y el producto extintor depositado sobre ella se distribuye en la sección de la galería y extingue la llama que sigue a la onda.

La protección de las labores se realiza por medio de barreras principales y secundarias.

En las barreras principales, se depositan 400 kg. de material estéril extintor por metro cuadrado de sección de la galería, están prescritas para el cierre de sectores de ventilación en las corrientes de entrada y de retorno, para la separación de labores de acceso.

En las barreras secundarias, se depositan 100 kg de producto extintor por metro cuadrado de sección de galería, se separan entre sí los talleres de un flanco, cuando están distanciados más de 30 metros.

La eficacia de una barrera depende esencialmente de que sea alcanzada por la onda de choque plena de la explosión.



Para lo cual es necesario que el recorrido desde el eventual foco de la explosión hasta la barrera exista una longitud aproximada de 75 mts, en lo posible en línea recta.

Por esta razón, las barreras no deberán construirse en cruces de galerías ni en curvas. Los distintos tableros de las barreras deberán colocarse en la sección libre de la galería, de preferencia en el tercio superior y con su mayor dimensión en dirección normal al eje de la galería. (1)

#### Barreras de Producto Extintor o de Polvo

##### 1. Construcción.

De una serie de investigaciones y estudios en minas experimentales en diferentes países como: Francia, Polonia, Alemania, EE.UU. y Japón, donde se vienen realizando trabajos de investigación sobre barreras automáticas y en el futuro estos equipos serán indispensables para contrarrestar la explosión de las minas de carbón

---

(1) Ver Bibliografía. Sección. 9.6.

Según las conclusiones de estos estudios la construcción debe reunir las siguientes condiciones:

a) Simplicidad,

Ejecución e instalación fáciles para evitar errores de montaje.

b) Funcionamiento bajo el efecto de cualquier explosión por muy débil que sea el golpe de viento que un disparo pueda producir.

c) Distribución del polvo en forma de nube y no caída en bloque.

La formación correcta de la nube depende de la forma como se pone en movimiento las distintas partes del tablero bajo el efecto del golpe de viento. Los tableros deben reaccionar con elasticidad al distinto grado de violencia de la explosión.

d) El dispositivo no debe producir daños personales ni aún en caso de caída intempestiva.

2. Producto extintor

Debe tener las siguientes cualidades;

a) Poder de extinción elevado.

Su clasificación es poco diferente de la determinada para el empleo de la esquistificación.

b) Buena dispersabilidad.

Es preciso unirla con la de envejecimiento. No serviría de nada tener un material dispersante en fresco si su eficacia quedase reducida a los pocos días caso de aglomerarse.

c) Sea barato.

En cuanto al precio, es un problema secundario, ya que consumen menos que en el proceso de esquistificación.

### 3. Emplazamiento

Una barrera debe funcionar contra cualquier explosión, proceda de donde procesa. Pero el emplazamiento ha de escogerse con respecto los orígenes más lógicos.

Hay que distinguir dos clases de barreras:

a) Barreras principales.

Que separan secciones aisladas de yacimientos o de cuarteles pulverulentos, para impedir que una explosión pase de una a otra sección. Su emplazamiento queda a libertad del explotador, señalando el reglamen-

to medidas y distancias.

b) Barreras secundarias.

La elección en este caso se deja al explotador, es más amplia, ya que se colocan - en lugares donde no se puede señalar a priori una norma.

Taffanel estimaba que la parada de una explosión es tanto más fácil cuanto más lejos está el lugar de la misma de la barrera.

(1).

Barreras de agua.

Gozan de poco favor los cangilones -están separados de 1 a 2 mts. y el conjunto contiene un mínimo de 200 lts. de agua por metro cuadrado de sección de galería, resultan fácil - conservar y baratos.

En los EE.UU. y Francia, no utilizan mucho por la dificultad de controlar el nivel del agua.

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

#### 5.2.3.6 Confinamiento

El confinamiento del área del siniestro o sellado, también llamado tapiadura o taponar, ésta metodología es utilizada cuando no se puede controlar con los métodos de ataque directo, cuando el lugar del incendio es inaccesible o - cuando hay pruebas y razones suficientes de la acumulación peligrosa de gases explosivos.

Además hay otras razones para tapiarlo, las principales son:

- a) Por no existir en la zona o sector una red de agua contra incendio, con presión suficiente y
- b) Que la extensión del foco del incendio sea grande, que existe el riesgo inminente de que se produzca una explosión que compromete la vida de las personas empeñadas en apagar el siniestro.

La operación de sellar un laboreo y el sistema - que se deberá usar, será decidido por la superioridad de la empresa y en forma particular por el profesional de seguridad o protección o vigilante de mina.

Existen opiniones divergentes de especialistas, acerca si se debe sellar primero la entrada o salida, respecto al punto de generación del incendio. Muchos expertos coinciden en tapiar simultáneamente ambos lados, particularmente si el siniestro se ha producido en una sección donde se liberan cantidades peligrosas de gases explosivos.

De no ser posible el sellado de ambos lados, por alguna circunstancia que impida la entrada y salida o por otros motivos técnicos, es recomendar sellar primero la entrada; porque por la entrada, recibe, la zona del incendio, el aire fresco, es la zona de mayor acumulación de oxígeno y por lo tanto entra en contacto con la llama, en cambio la galería de salida será pobre de oxígeno.

La distancia donde se levantarán los sellos, se hará en función de la naturaleza del techo y del piso; la cantidad bocas a sellar, la condición del aire de la sección en la que se va desarrollar la actividad y, si la sección a sellar es gaseada o no.

En razón de que el levantamiento de los sellos en una sección gaseada es muy peligrosa, esta cons-

trucción deberá realizarse con mucha precaución. Los sellos se levantarán a unos 300 mts. del lugar del siniestro para permitir el paso de algún tiempo antes de que se generen algunas mezclas explosivas.

Esta tarea en sí, es una lucha para reducir el oxígeno disponible antes de que se generen los gases combustibles en el punto de la explosión. Se debe tener previsto todo el material de confinamiento, para los casos de emergencia en la mina.

Las Brigadas de Salvamento intervendrán en la construcción de los tapones, ya que estos trabajos necesitan de personal preparado y con equipos de protección respiratoria.<sup>(1)</sup>

#### Sellos temporales

En esta etapa, el factor tiempo juega un rol muy importante en la construcción de tapones temporales, ya que tienen que levantarse en el menor tiempo posible para cortar el paso del aire como fuente de la llama y por lo tanto, lograr su extinción. De allí que sea necesario contar con

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

los materiales necesarios y adecuados para lograr los resultados esperados.

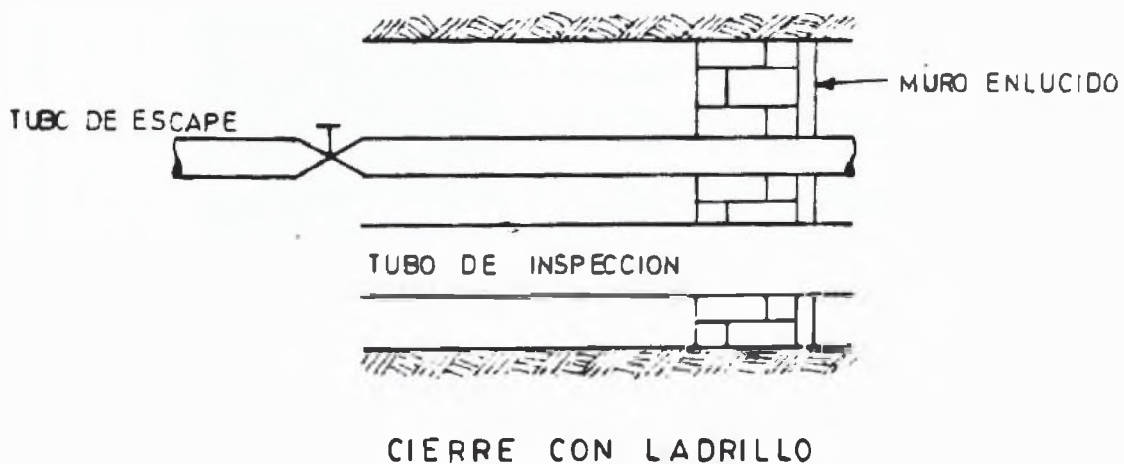
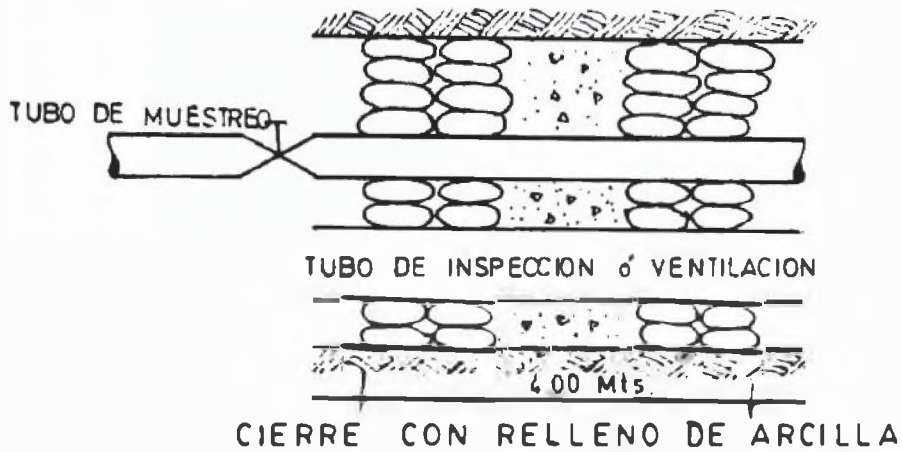
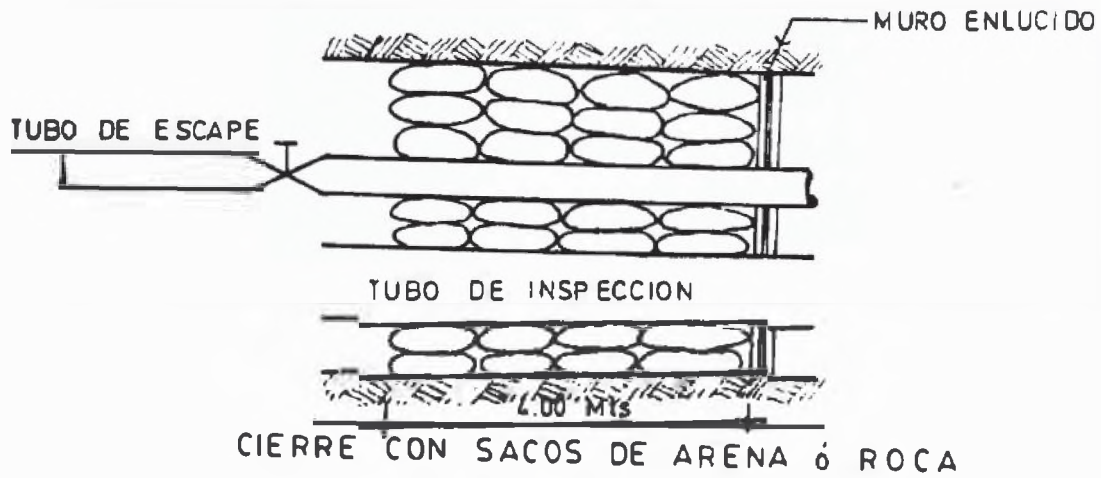
Los sellos temporales son contruidos por lo general con telas de tabiques o de lona, por su fácil montaje hermético. Cuando se necesita levantar un tipo de sello más resistente es mejor usar tablas reforzados y/o recubiertos con tela de tabique y los bordes rellenados con estuco, mortero, etc., (para dar hermeticidad de cualquier rajadura o hueco) y resulta práctico utilizar como antitabique sacos de arena o de roca para amortiguar las explosiones.

Los tapones temporales se construyen a una distancia de 1.50 a 1.80 mts., del punto escogido para proceder el levantamiento del taponamiento permanente, en la galería, con el fin de dejar un espacio suficiente para la construcción del tapón.

Los sellos temporales protegen los trabajos de salvataje, evacuación de personal, construcción de sellos permanentes y detiene temporalmente el avance del incendio y explosión. Se puede apreciar en la gráfica No. 5.4 la forma como se realiza los cierres temporales.



# CIERRES TEMPORALES



### Sellos o Tapones Permanentes

El carácter de su construcción depende de los materiales disponibles, el tiempo que serán usados, la necesidad de una hermeticidad plena y la fuerza requerida para soportar presiones o aplastamientos.

El material empleado puede ser: ladrillo, bloques de cemento, concreto, madera rellena con mortero y viruta, mortero de cemento, madera con varias capas de tela de tabique, lona, etc.

Todo tapón permanente construido con el fin de sellar un incendio deberá encontrarse bien empujado en las paredes, piso y techo de la galería, para que resulte lo más hermético posible. Se tomará provisiones del caso para la toma de muestras de aire, de presión (para sangrar el exceso de presión). Con este fin se colocará tubería y válvulas en la cara del sello. Asimismo, habrá de instalar tuberías y válvulas para drenar y/o inundar la zona del siniestro.

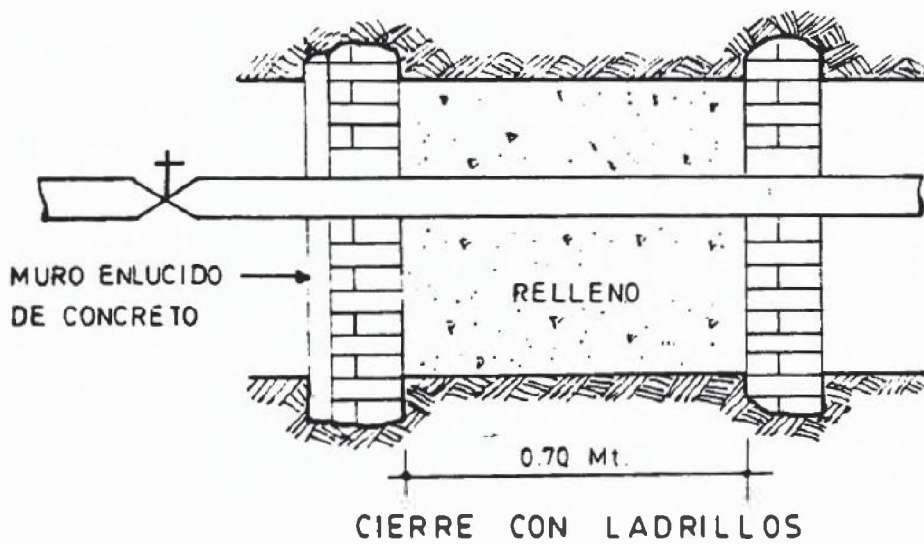
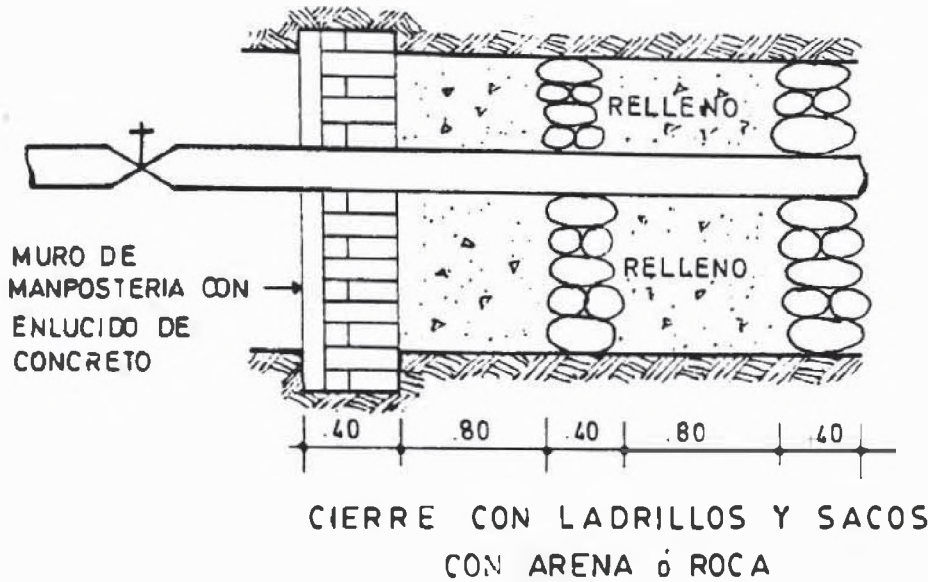
La tubería colectora de las muestras de aire podrá ser instalada en el centro de la pared del tapón.

Estos tapones deben ser patrullados en forma regular y ser inspeccionados con frecuencia, a fin

de detectar la presencia de cualquier fuga y de ser así, se taponará inmediatamente.<sup>(1)</sup> En la gráfica 5.5, página 358, se ve la forma como hacer los cierres permanentes.

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

CIERRES PERMANENTES



### 5.3 Control de Incendio y Explosión

El control se realiza una vez iniciada el siniestro, para evitar que se extienda o propague rápidamente, minimizando de esta forma sus efectos destructivos, utilizando los diferentes sistemas de protección previstas.

De acuerdo a la tecnología del control existen cuatro métodos para el control de un incendio y explosión, son las siguientes: por enfriamiento, por eliminación de oxígeno del aire o sofocamiento, por eliminación del combustible o remoción y por inhibición de la reacción en cadena.

El éxito del control depende del conocimiento teórico práctico de los métodos, la combinación de los mismos y la correcta utilización en la lucha contra siniestros.

No existe una regla fija respecto al control y extinción de incendios y explosiones, en razón de que cada siniestro en si es un problema propio de cada mina y depende de las condiciones encontradas. (1)

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

### 5.3.1 Extinción por enfriamiento

Consiste en eliminar el calor creciente que produce el incendio o explosión por medio de un agente extintor que tenga la propiedad de absorber todo el calor desprendido, por lo tanto, debe tener un poder enfriador muy eficaz.

La eficacia de un agente extintor como medio de enfriamiento depende de su calor específico y latente, así como de su punto de ebullición. La superioridad de las propiedades extintoras del agua puede atribuirse a los valores relativamente altos de su calor específico y su calor latente y a su disponibilidad. Sin embargo, el agua es bastante pesado y difícil de trasladar.

Absorbe los rayos infrarrojos irradiados por el incendio y produce su efecto, apartando el calor de las superficies sólidas que están ardiendo mediante una secuencia de acciones de conducción, evaporación y convección.

Este efecto extintor del agua son las siguientes:

1. Un litro de agua por minuto puede absorber 650 Kcal-minuto si se aplica a 15°C y llega totalmente evaporada y sobrecalentada a 250°C.

2. El agua, al evaporarse, se expande a una razón aproximada de 2500:1, reduciéndose grandemente el contenido de oxígeno en espacios cerrados.
3. Incidentalmente, puede inducir aire cuando se encuentra sobrecalentada a unos 250°C, dependiendo del tipo de chorro que se elija. Con un chorro difuso en ángulo de 30° y una presión de kg/cm<sup>2</sup> se inducen unos 850 lts/minuto de aire en la corriente de agua. Esta ventilación puede ser beneficiosa o perjudicial, según el modo de aplicación.
4. En un compartimiento cerrado o en una galería en el que hay combustibles, como el gas grisú o polvo de carbón, extinguirá el siniestro a razón de 0.75 m<sup>3</sup> por litro y por minuto.
5. Sus efectos pueden mejorarse con la adición de agentes tensoactivos para favorecer la acción de penetración y empapamiento de agentes espesantes para retardar el goteo y aumentar la penetración.

Como el calor se desprende continuamente por radiación, conducción y convección, sólo es necesario absorber una pequeña parte de la cantidad total del que se está produciendo, el siniestro, para extinguirlo por enfriamiento, el agua debe

caer directamente al combustible. (1)(2)

### 5.3.2 Extinción por eliminación de oxígeno

La eliminación sólo puede aplicarse al estado gaseoso libre de oxígeno del aire, puesto en su estado combinado queda bloqueada dentro de la molécula y su dilución es imposible.

Con la eliminación de oxígeno en la atmósfera del incendio, por la formación del vapor generado por la aplicación de agua a los incendios declarados en las galerías. El grado necesario de dilución del oxígeno varía enormemente según el material o combinación de materiales combustibles que estén ardiendo. Al bajar la concentración de oxígeno de 21% a 15% deja de arder.

Los incendios en las galerías consumen también oxígeno, esta combustión no basta para que el siniestro se apague por sí sola, porque la combustión en atmósfera con poco oxígeno, normalmente incompleta, da por resultado una copiosa producción de gases inflamables.

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

(2) Ver Bibliografía. Punto 9.7.



La entrada inadvertida en un espacio así, que esté en estas condiciones o que tenga una ventilación insuficiente constituye un peligro de explosión, o más propiamente una reexplosión, como se conoce este temible fenómeno. (1)

#### 5.3.3 Extinción por eliminación de combustible.

La eliminación de combustible o remoción, puede lograrse directamente, apartando del incendio el material combustible o indirectamente, separando por algún procedimiento eficaz.

En una mina de carbón, no es tan práctico eliminar el material combustible, el gas grisú y el polvo de carbón.

#### 5.3.4 Extinción por inhibición de la reacción en cadena.

Los métodos de extinción por enfriamiento, por eliminación del oxígeno y por separación del combustible son aplicables a toda clase de incendios, ya sean de combustión con o sin llama.

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

La extinción por medio de la inhibición química de la llama es aplicable solamente a los casos de combustión con llama.

Lo más sobresaliente de este método es la extrema rapidez y la alta eficacia relativa con que llega a extinguir las llamas, si se ejecuta adecuadamente, es el único capaz de impedir que se produzca una explosión en una mezcla de gases y aire, o inclusive en una mezcla de gas y oxígeno, una vez que ha ocurrido la ignición.

La extinción por inhibición de la reacción en cadena que libera radicales libres, sólo es posible cuando no se permite a las especies activas o radicales libres que cumplan su papel de mantener la llama; mediante el empleo de agentes extintores halogenados del orden más altos.

Al colocarse estas sustancias sobre la llama, se disocian térmicamente en sus radicales libres aniones y cationes y catalizan la unión de los radicales libres portadores de la cadena de la reacción de combustión, disminuyendo así su influencia sobre la continuación de la llama. (1)

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

#### 5.4 Lucha contra incendio y explosión

La lucha contra incendios y explosiones consiste en extinguir el siniestro con la mayor rapidez y eficacia posible.

Apagar un siniestro cualquiera que sea la causa que dió origen, deberá ser logrado en su fase i nicial e incipiente, si es descubierto con prontitud, puede ser controlado y extinguido con facilidad.

El modo de combatir los siniestros en las minas de carbón ha evolucionado mucho y en la actualidad generalmente se utilizan combinando los métodos de enfriamiento con el sofocamiento.

Se considera extinguido el incendio cuando ya no hay humo, ni fuego activo y los gases han desaparecido, el contenido el aire encerrado deberá ser: oxígeno menor de 6%, monóxido de carbono mayor que 10% y la temperatura no deberá exceder de 40°C por varias semanas. Si estas condiciones no se registran, podemos asumir que el incendio aunque inactivo, subsiste y podría reavivarse si se introduce aire fresco. <sup>(1)</sup>

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

#### 5.4.1 Plan de emergencia contra siniestros.

El plan de emergencia es parte del Programa de Contra Incendio y Explosión, que tendrá que existir necesariamente en una mina de carbón, - de explotación subterránea.

Todo Plan de Emergencia implica la formación y estructuración de grupos reducidos de personas para realizar determinadas funciones; como por ejemplo extinguir el incendio o la prestación de primeros auxilios, etc.

Independientemente de la dimensión y estructura de la empresa minera, la autoridad de mayor nivel (Directorio, Gerencia, otros) tienen la responsabilidad de elaborar y poner en práctica un Plan que tenga en cuenta todas las posibilidades que requiera la emergencia, con el mismo grado de organización y eficacia administrativa que cualquier otra organización productiva.

La elaboración del Plan de Emergencia queda cargo de los profesionales de Seguridad e Higiene, ésta es una política correcta, pero ello no debe eximir a la gerencia de la empresa minera de asumir plenamente la responsabilidad por las decisiones que se deben tomar.

### Objetivo

El objetivo principal del Plan de Emergencia - constituye la seguridad de las personas, protección de los bienes- minimizar las pérdidas materiales- y la alteración de las operaciones de explotación minera.

Los planes de emergencia, así como cualquier otra función desempeñada por la gerencia, debe hacerse por adelantado; este es el único modo - de reducir al mínimo el peligro de posibles daños a las personas y a la propiedad.

### Organización

Toda empresa minera de explotación de carbón, debe formar personal en actividades de rescate y recuperación mineras para aplicar racional, oportuna y en equipo, los conocimientos adquiridos en el momento preciso. Aún contando con Brigadas de Salvataje, la carencia de una organización adecuada resultará fatal, muchas muertes y pérdidas económicas, enormes.

Al ocurrir un desastre, en el que han fallecido gran número de mineros requerirá de varios días y semanas para acabar con las tareas de recupera

ción y control. Por ello, será necesario que toda empresa minera de carbón cuente con una organización permanente, eficiente y capaz, competente y experimentada, en las tareas a ejecutarse al ocurrir un desastre y a menudo, salvar la vida de mineros atrapados. Asimismo, evitar riesgos innecesarios y la posible pérdida de vidas entre el personal de las Brigadas de Salvataje, o de recuperación de la propiedad de la empresa. (1)(2)

#### Ideas Adversas Acerca la Organización del Plan de Emergencia

Entre algunos factores adversos que tiene que enfrentar cualquier empresa en su lucha y control de siniestros son:

- a) La falta de una organización eficiente de seguridad.
- b) El ausentismo elevado de la mano de obra, con la consiguiente desventaja extra de que el trabajador casi nunca es entrenada en prácticas de emergencia, ya sea por carecer de un plan pre establecido o por el carácter temporal, más que permanente del trabajador minero.

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.5.

(2) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

- c) La idea equivocada, de que éste tipo de desastres no ocurrirá jamás en los linderos de la mina, y
- d) Otros, entre los cuales merece atención el poco interés de algunos accionistas y/o personal de alto nivel de decisión en equipar y entrenar a grupos selectos de su personal en situaciones de emergencia, por razones económicas (1).

#### Organización del Plan de Emergencia contra siniestro.

La organización debe contener además, la relación de equipos y materiales necesarios para llevar a cabo las operaciones de rescate y recuperación. Se le ubicará en puntos estratégicos para servir de guía y de fácil referencia. La organización es importante, pues, facilita la formación de personal, la organización de tareas y la adquisición y mantenimiento de equipos y materiales.

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

Así las empresas mineras de yacimientos de carbón, a fin de organizar, deben establecer y llevar al día un número suficiente de planos que indiquen la Organización del Sistema de lucha contra cualquier siniestro en cualquier sector de la mina (I).

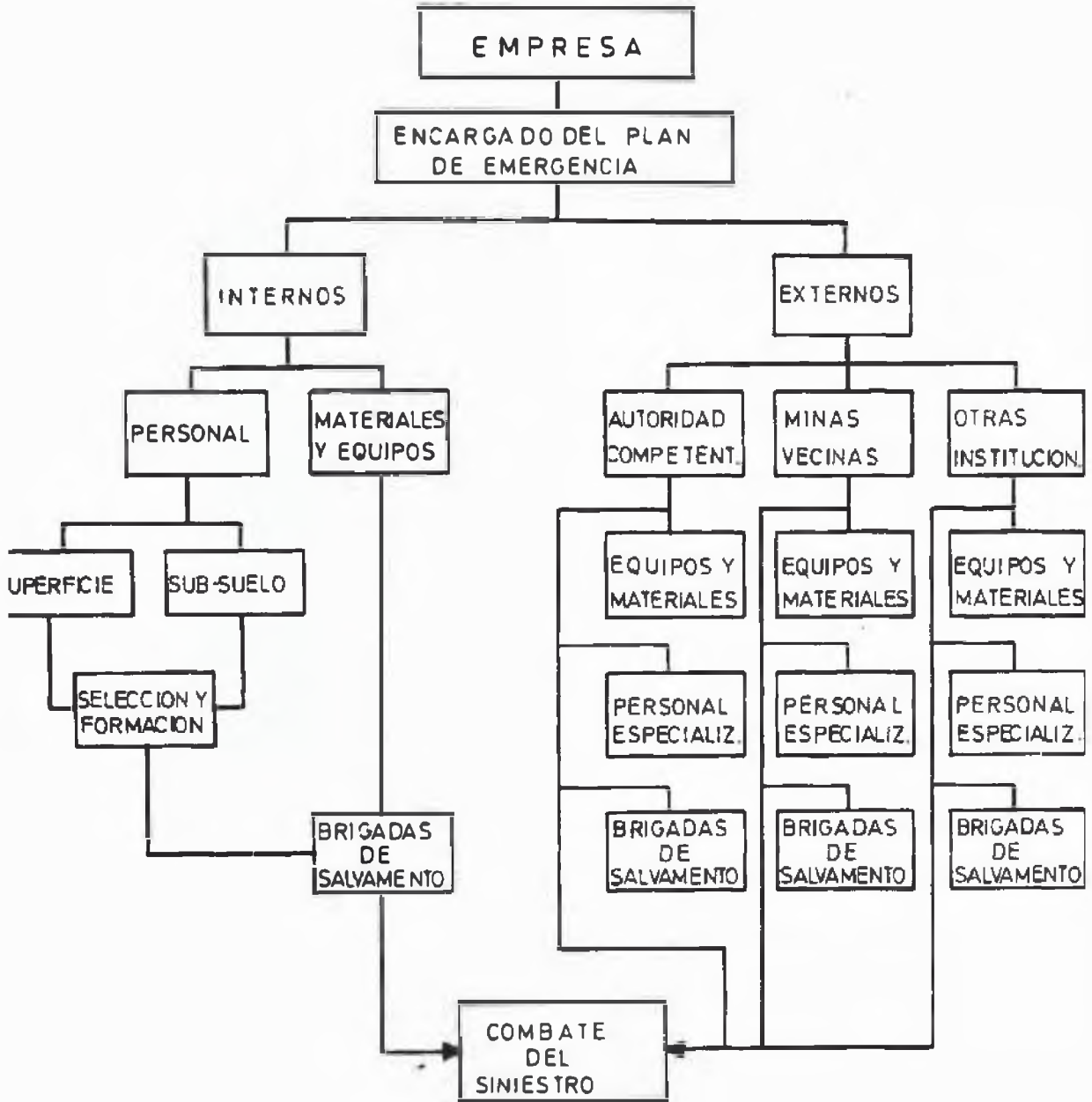
Como referencia se puede apreciar en el adjunto un Organigrama de Organización diseñado por el U.S. Bureau Of Mines de los E.E.U.U. de Norte América, en la gráfica N° 5.6, página 371.

(I) Ver Bibliografía, punto 9.6



GRAFICA 5.5

ORGANIGRAMA DE ORGANIZACION DEL PLAN DE EMERGENCIA CONTRA INCENDIO Y EXPLOSION



bido, para llevar a cabo las operaciones anti-desastres.

El personal asignado y organizado para ejecutar tareas de lucha contra siniestros ha practicado con mucha frecuencia y se encuentra capacitada para desarrollar eficientemente tareas anti-desastres.

La organización permanente deberá estar constituida de la siguiente manera:

Jefatura de Operaciones:

a) Jefe de Operaciones de Subsuelo.

- Jefes de turno
- Brigadas de Rescate o Salvamento.
- Brigadas de ventilación.
- Brigadas de recuperación de daños.
- Materiales de trabajo para las brigadas.

b) Jefe de Operaciones de superficie

- Oficina de Operaciones.
- Oficina de lámparas.
- Instalación de comedores.
- Instalación de dormitorios de emergencia
- Almacenes
- Hospital de emergencia y morgue
- Laboratorio
- Otras brigadas.

La persona nombrada para la jefatura de operaciones, deberá ser competente en trabajos de labores subterráneas y con mucha experiencia en actividades de lucha contra siniestros o anti-desastres, rescate y recuperación minera. No debe tener parientes próximos o amigos íntimos involucrados en el desastre. Al nombrarse se le dará plenos poderes para realizar sus actividades. Este personal será nombrado por la empresa o por el Consejo de Emergencia o Comité de Emergencia (diversas denominaciones).

Conforme el Plan de Emergencia, formulará el Plan de Trabajo a seguir tan luego tenga conocimiento cabal de la situación. El Plan de Trabajo trazado deberá ser seguido "al pie de la letra" en lo posible, a menos que se aprueben algunos cambios, después de estudiado cuidadosamente la situación de emergencia.<sup>(1)</sup>

Entre las distintas obligaciones del Jefe de operaciones de la organización de emergencia, son las siguientes:

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

- a) Establecer el Centro de Operaciones (en ella quedará instalada la superintendencia y el Jefe de Operaciones de Emergencia).
- b) Nombrar a los Jefes Asistentes que sean responsables durante las 24 horas del día tareas como:
  1. Jefes de las Guardias de trabajo en superficie,
  2. Encargado de reclutar voluntarios y asignarles sus tareas.
  3. Jefe de las tareas de rescate con sub-asistentes responsables de:
    - Cuadrillas y equipos de respiración de oxígeno y máscaras antigas.
    - Cuadrillas de rescate, sin equipo de respiración y máscaras.
    - Cuadrillas de ventilación.
    - Encargados de las lámparas de seguridad.
    - Encargado del Registro del Ingreso y Salida del personal del subsuelo.
    - Cuadrillas camilleras.
    - Cuadrilla encargada de marcar la ubicación de cadáveres.

4. Médico responsable del Hospital de Emergencia y las labores correspondientes.
5. Médico a cargo de la morgue y de la ubicación del Médico Legista.
6. Encargado de suministros de materiales y equipos requeridos para operaciones de rescate y recuperación de pérdidas;
7. Encargado de las facilidades de reposo del personal voluntario.
8. Comisionado de la información.

- c) Dirigir el Plan de Trabajo en base a la información que le brinda el grupo de Jefes Asistentes por él nominado.
- d) Ejercer supervisión responsable en la organización de las labores de subsuelo o orientadas al rescate y recuperación, asignando las tareas correspondientes; y
- e) Atender que los ingenieros de minas actúen en las áreas bajo su responsabilidad, brindándoles ayuda cuando ello sea necesario.

## 2. Ayuda Externa.

La Gerencia o un funcionario al más alto nivel es quién decidirá el tipo de asistencia a solicitar, si la magnitud del desastre así lo

exige. El tipo de asistencia requeridos pueden ser:

- a) A centros mineros vecinos y otras instituciones.
- Personal competente y experimentado, en trabajos de rescate y/o recuperación minera.
  - Brigadas de lucha contra siniestros en subsuelo, con sus equipos correspondientes.
  - Personal experimentado en almacenaje, limpieza, carga y reparación de equipos de salvataje.
  - Personal médico y paramédico, ambulancias, etc.
- b) A la autoridad competente.
- Ingenieros o Inspectores de Seguridad e Higiene.
  - Equipos y/o aparatos de análisis de gases de subsuelo.
  - Otros equipos.

En caso de que existen galerías de enlace subterráneo con la propiedad de otra empresa, la Gerencia de la mina afectada comunicará esa situación para que la mina vecina proceda a evacuar a su personal en el menor tiempo posi

ble, De no hacerlo, puede dar lugar que dicho personal sea afectado o resulte muerto por lo gases tóxicos generados.

El personal profesional de la mina vecina tomará las medidas correspondientes para salvar la vida de su personal y evitar que el desastre se expanda tanto a las labores activas como a las abandonadas.

#### 5.4.2 Agentes extintores.

Son sustancias que tienen poder extintor alto o sea apagan el siniestro al ser aplicados por los medios o equipos de lucha contra incendios y explosiones.

El poder extintor, es debido a las características y propiedades, que le dan estabilidad, alto grado de ebullición y fusión a los agentes extintores.

##### 5.4.2.1 El agua

El agua es un agente extintor excelente, debido a sus propiedades físicas que le dan características extintoras, son las siguientes;

- a) A temperatura ordinaria, es un líquido pesado y relativamente estable.
- b) La conversión en agua líquida de un gramo de hielo a 0°C absorbe 80 calorías, que es el calor de fusión del hielo.
- c) Se necesita una caloría para elevar 1° C la temperatura de un gramo de agua, que es el calor específico del agua. Por lo tanto, para elevar temperatura de un gramo de agua entre 0°C y 100°C hacen falta 100 calorías.
- d) El calor de vaporización del agua (la conversión en vapor de un gramo de agua a temperatura constante) es de 540 calorías por gramo presión atmosférica.

Otro factor que influye sobre la acción extintora del agua es que cuando pasa de líquido a vapor, su volumen a presiones ordinarias aumenta aproximadamente 1700 veces. Este gran volumen de vapor de agua desplaza un volumen igual del aire que rodea al fuego, reduciendo de este modo el volumen de aire-oxígeno disponible para sostener la combustión en la zona incendiada.

Por estas características el agua constituye el agente extintor más eficaz para apagar incendios y explosiones en labores subterráneas.<sup>(1)</sup>

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.



#### 5.4.2.2 Polvo de Roca

Los polvos de roca, no sólo extinguen la llama viva, sino que además excluye el oxígeno - del material inflamado, enfrian el material caliente y permiten un rápido carguío en los carros metaleros.

Su ventaja respecto al agua es que no forman ni vapor de agua, ni hidrógeno gaseoso, ni humos, etc.

Los polvos de roca más utilizadas son: cal, pizarra, yeso, arcilla, etc. (1)

#### 5.4.2.3 Arena

La arena, es otro material en polvo, que puede ser fácilmente aplicado en el apagamiento de incendios y explosiones, especialmente si se encuentra en un estado de polvo muy fino.

La desventaja que presenta, es por ser más pesado que el polvo de roca, su manejo es más difícil (2).

#### 5.4.3 Medios de Extinción

Está referida a la actuación de todos los medios automáticos, manuales (extintores, instalaciones de agua, polvo de roca, etc.) que han

---

(1) y (2) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

sido previstos con anterioridad; evacuación de personas, cierre de galerías y acción hasta la total extinción del siniestro.

El funcionamiento y actuación de los equipos e instalaciones deben ser altamente eficaces y cualquier fallo en una de ellas, puede tener consecuencias catastróficas.

#### 5.4.3.1 Ataque directo

Una vez detectado y declarada la emergencia, combaten directamente hombres entrenados, con rapidez y eficacia, exponiendo sus vidas directamente a los efectos negativos de los incendios y explosiones.

##### Primera Intervención

Como primera medida a adoptarse será reducir al mínimo la cantidad de aire que llega a la zona del siniestro, para evitar la intensificación innecesaria del incendio y explosión.

Se utilizan equipos portátiles, de uso manual previstos en la mina para la extinción del siniestro en su etapa inicial, como la aplicación de agua a chorro o pulverizada por medio de un extintor de agua, la aplicación rápida del polvo de roca o arena por medio de la lampa u otra herramienta apropiada prevista para estos fines. El polvo de roca será almacenado en sacos de tamaño conveniente que facilite su transporte y em

pleo en estos precisos momentos.

### Segunda intervención

Cuando los equipos de primera intervención han resultado ineficaces para controlar y apagar el siniestro, al progresar y propagarse, entonces se utilizan equipos de mayor eficacia y personal especializado como las Brigadas de Salvataje minero.

Cuando un incendio y explosión subterránea no ha podido ser extinguido con los medios comunes al alcance de cualquier personal de la mina, se hace necesario el ataque organizado del siniestro, con agua a alta presión, que a la postre es el mejor elemento extintor que existe.

El agua puede aplicarse mediante el empleo de mangueras, pitones y otros accesorios disponibles, en grandes volúmenes, en un tiempo relativamente corto para evitar que se forme vapor de agua; en forma de lluvia fina, agregándole agentes "humectantes" para incrementar la efectividad del agua, etc.

El ataque al siniestro debe ser a favor de viento y avanzado con el agua en forma sistemática, desde el extremo al centro. En la mina, atacar un incendio agravado, contraviento es muy difícil.

y peligroso; sólo se puede intentar si las condiciones son favorables y ha de ser con un equipo de hombres bien adiestrados, tanto en el uso y manejo de elementos contra incendios y explosiones del gas grisú o polvo de carbón, con aparatos de respiración a oxígeno, los cuales son indispensables por los gases irrespirables, producto de la combustión.

En esta etapa del siniestro se combate con los equipos y personal especializado de la mina, en el ataque directo, en la lucha contra siniestros.

(1)

### Tercera Intervención

En esta etapa de lucha contra incendio y explosión, el siniestro se torna catastrófica al agravarse el accidente. En este caso de acuerdo al Reglamento de la Ley de Minería N° 18880 en su Art. 441 dice: A solicitud del superintendente de la mina, el personal de las explotaciones mineras vecinas quienes están obligados a prestar todas las facilidades que le sean solicitadas con el fin de salvar al personal que se encuentra en peligro.

En este caso, todos los gastos consiguientes corren por cuenta de la empresa minera donde ocurrió el accidente. El Art. 442, además estipula lo siguiente: que tan pronto como se tenga noticia de incendio, explosiones, inundaciones y en general cualquier accidente grave o siniestro colectivo, deberá darse aviso inmediato a Ministerio de Energía y Minas por el medio de comunicación más rápido que se disponga.

El personal especializado en Salvataje minero - de compañías mineras vecinas, colaborará en la evacuación de personal en peligro, en la evacuación de cadáveres, en la lucha directa e indirecta contra siniestro, ayudando principalmente construir los cerramientos, etc. (1)

#### 5.4.3.2 Ataque indirecto

El hombre ya no participa en forma directa en extinguir el siniestro.

Esta metodología es seguida cuando el proceso esperado no ha sido logrado con el método de ataque directo, cuando el lugar del incendio y explosión es inaccesible, o existen razones para pensar de que han efectuado acumulaciones peli-

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.5.

grosas de gases explosivas.

Con este fin, por lo general, se procede al levantamiento de cierres o tapones de carácter temporal para excluir rápidamente la mayor cantidad de aire de la zona de incendio o explosión y luego confinar definitivamente de esta forma - la lucha se realiza por sofocamiento y que ha de mostrado ser muy eficaz.

En una mina de carbón de explotación subterránea donde se ha previsto sistemas automáticos para - la lucha contra incendio o explosión, sin la par ticipación directa de personas, combaten solos - con gran eficacia, en forma simultánea y combina da, si están bien implementadas y con suficiente agente extintor.

Entre los sistemas más utilizados son:

Diferentes tipos de barreras automáticas de polvo de roca, de agua, los rociadores de agua, tabiques y el taponamiento hermético, etc.

### 5.5 Salvataje Minero

En una empresa minera de explotación subterránea, de minas de carbón, existe siempre la posibilidad de que ocurran emergencias en que se ve en peligro la vida del personal y comprometida la existencia de la mina.

La primera finalidad de una Brigada de Salvataje es actuar en caso de emergencia y proceder al rescate de los heridos, personas atrapadas o víctimas, del sitio del suceso; control y lucha contra incendio, explosión, inundación o golpe de agua, derrumbes, etc., restauración de la ventilación de las faenas, y reiniciar las labores de explotación productiva.

El Reglamento de la Ley General de Minería N° - 18880 estipula en Capítulo II del Salvataje y en el Art. 436, por ejemplo dice: Todo programa de seguridad e higiene considerará cuadrillas permanentes de salvataje compuestas de no menos de 10 hombres perfectamente adiestrados y provistos de implementos para llevar a cabo sus funciones.

El personal que forma parte de las cuadrillas de Salvamento debe ser cuidadosamente seleccionado entre los empleados y obreros que tengan ma

por experiencia en los trabajos mineros o metalúrgicos, según sea el caso, que conozcan minuciosamente las diversas labores de la mina e instalaciones en superficie, que posean una inteligencia despejada y un sentido de responsabilidad adecuada a la importancia de su misión. (1)  
(2)

#### 5.5.1 Requisitos exigidos para ser Miembro de Salvamento.

Los atributos y exigencias de las condiciones físico-mentales que se necesitan para ser integrante de una Brigada de Salvamento, están establecidas en forma común para todas las empresas mineras.

Los principales son:

1. Límite de edad 18-45 años.
2. Aptitud físico-mental y buena salud.
3. Tener buena vista y oídos en perfecto estado
4. Tener la dentadura en buenas condiciones
5. Ser disciplinado y de buenos hábitos.

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.5.

(2) Ver Bibliografía. Punto 9.6.



6. Ser sereno en momentos de peligro.
7. Tener coraje y poseer buen criterio e iniciativa.
8. Su peso debe estar dentro el 10% que dan las normas de proporción entre peso y estatura según edad.
9. Estar capacitado para llevar a cabo trabajos arduos y prolongadas.
10. Estar familiarizado con las condiciones y el terreno del interior de la mina.
11. Estar bien entrenado en las técnicas de primeros auxilios (respiración artificial, control de hemorragias y tratamiento de Shock).
12. Conocer todos los equipos de salvamento (manejo y otros).

#### 5.5.2 Instrucción y formación del personal de Salvataje.

La formación que reciben tanto teórico-práctico son en los siguientes cursos:

##### a) Prevención y extinción de siniestros.

Dando especial atención al uso y manejo de los materiales de extinción usados en la mina (extinguidores, grifos, mangueras, pitones,

etc.) extinción por sofocamiento (cierres o sellado), recuperación de labores incendiadas, red de agua a alta presión, etc.

b) Primeros auxilios.

Dando especial importancia la respiración artificial, tratamiento de intoxicaciones y asfixiados, transporte de heridos, tratamiento de quemaduras y detención de hemorragias y shock.

c) Ventilación de Minas

Conceptos básicos, en especial sobre gases de la mina y los circuitos de ventilación y sus características.

d) Conocimiento teórico-práctico de los equipos de respiración. Conocimiento de los equipos de respiración a oxígeno y aparatos auxiliares usados en la empresa.

e) Entrenamiento adicional acerca del uso y los cuidados de los aparatos de salvamento minero.

Los cursos de actualización generalmente se realiza cada 3 a 4 meses.

Las prácticas en las galerías de prueba, para esto, es muy conveniente contar con una galería de prueba, que pueda ser inundada con humo. La galería que se usa en el establecimiento tiene aproximadamente 75 mt. de longitud y está taponada en uno de sus extremos, por lo que es sencillo inundarlo con humo cuando se desea hacer una práctica, basta para ello encender un fuego en su extremo ciego, con materiales combustibles que desprenden gran cantidad de humo. Una vez que la visibilidad es prácticamente cero, se procede a hacer prácticas que normalmente comprenden exploración de la labor presuntamente incendiada transporte de accidentados, en ambientes de poca visibilidad y en camilla y uso de autorrescadores, etc., y debe hacer ejercicios preestablecidos, en humo, como: levantar, cortar madera, etc.

Las ventajas son la preparación psicológica y práctica de los miembros de las brigadas para actuar en gases tóxicos y en ambientes de poca visibilidad.

Las prácticas en la mina misma, tiene por objeto principal, habituar a los miembros de salvamento

minero a usar durante tiempos extensos los diversos aparatos de rescate, en el terreno en que podrán presentarse las emergencias donde serían llamados a intervenir y que experimente la merma física que produce el uso de los equipos en terrenos difíciles.

Normalmente las prácticas comprenden:

- a) Conocimiento del terreno, haciendo largos recorridos a diferentes sectores de la mina provistos de aparatos de respiración.
- b) Rescate de materiales en galerías abandonadas y en lugares donde la composición de la atmósfera no permita el trabajo de personas desprovistas de protección respiratoria.
- c) Tapiaduras de emergencia en labores abandonadas en donde no exista ventilación, etc.

Todas estas prácticas tienen la ventaja de familiarizar al miembro de Brigadas con faenas de salvamento, que en una emergencia habrán de hacerse a ritmos forzados.

Para cumplir estas prácticas en las emergencias con eficacia, dependen de la buena mantención de los equipos, es una labor de capital importancia para el funcionamiento, cuando sean requeridos a servir eficientemente. (1)

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

### 5.5.3 Equipo mínimo de salvamento minero

El Reglamento de Bienestar y Seguridad y Seguridad Minera Anexo N°5, de la Ley General de Minas N° 18880 establece equipo Mínimo de salvamento minero como sigue en el siguiente cuadro:

CUADRO N° 5.7

## EQUIPO MINIMO DE SALVAMENTO

EQUIPOS	CANT.
Aparatos completos para la respiración con oxígeno. aprobados por Ministerio de Energía y Minas.	6
Botellas de oxígeno de repuesto para los aparatos	6
Válvulas reductoras de presión	2
Juegos de repuestos para los aparatos incluyendo (mordazas, bolsas, tubos, empaquetaduras, etc.).	2
Cilindro para almacenar cinco metros cúbicos de oxígeno en cada uno.	3
Lámparas de seguridad para metano o medidores de oxígeno.	2
Lámparas eléctricas de cabeza o de mano o linternas eléctricas con sus baterías y repuestos.	8
Bomba para oxígeno a mano o eléctrica con empaquetaduras y repuestos.	1
Bobina con trescientos metros de cordel de 1/4" como mínimo.	1
Detectores de monóxido de carbono con sus repuestos	2
Cargas para volver a llenar los regeneradores de los aparatos de oxígeno.	60
Psicrómetro	1
Aparato autorescatadores	10
Máscaras filtrantes para gases	10
Caja de herramientas completa con llaves, desarmadores, etc.	1
Manómetro para alta presión	1

...///

continuación cuadro 5.7

Manómetro para baja presión	1
Bolsa de tres litros para oxígeno	1
Camilla portátil	1
Extintores de incendio	2
Juegos de herramientas de mineros incluyendo palas, picos, hachas, martillos, etc.	2
Juego completo de detectores para los gases que pudieran existir.	1

#### 5.5.4 Locales de salvamento minero

En la superficie, en cada mina, debería acondicionarse un local apropiado, cerrado habitualmente con llave para que no penetren en él personas no autorizadas y enlazado con la red de comunicaciones de la mina, en el cual se depositarán los aparatos de salvamento listos para utilizarse.

Deberían además reservarse en superficies locales que en caso de siniestro permitan:

- a) Ajustar, reparar y recargar los aparatos respiratorios en servicio.
- b) Recibir al personal de salvamento.
- c) Dirigir el movimiento de dicho personal.

### 5.5.5 Operaciones de salvamento

La primera necesidad que se plantea al producirse una emergencia, es fijar un centro de operaciones desde donde partirán los piquetes o equipo de rescate o salvamento y a donde llegarán desde el sitio amagado; que sea centro de abastecimiento y preparación de equipos, lugar donde habrá un médico atendiendo a los lesionados, será cuartel general de los ejecutivos y dirigirán la acción de terreno en la eventualidad.

Este sitio se denomina Base de Aire Fresco y para elegir debe reunir las siguientes condiciones:

- a) El lugar elegido esté en aire fresco.
- b) Debe estar muy cerca al sitio amagado, para asegurar una mayor rapidez y eficiencia en las labores de rescate.
- c) Debe estar fuera de peligro de explosiones, - se producirán en caso de tratarse de incendio en el frente de carbón.
- d) Debe estar en un sitio bien fortificado, fuera de peligro.

El grupo de trabajo o piquete o cuadrilla de salvataje minero debe estar constituido por hombres. En caso de ocurrirle algo a uno de ellos los otros 4 pueden afrontar satisfactoriamente la



emergencia, sacándolo al aire fresco, sin hacer peligrar la vida de los otros componentes del equipo. Durante los entrenamientos, se compone de 6 hombres; cuando están operando debe ser sólo y 1 descansando en la base de aire fresco, por prevención.

Algunas veces, el trabajo requerirá más de 5 hombres, pudiendo operar en este caso 2 ó más cuadrillas en equipo. El trabajo debe ser coordinado por la persona encargada de dirigir la operación. En labores de rescate, la acción individual es - inútil y muy peligroso, por cuya razón la coordinación del equipo de trabajo es esencial, los hombres deben actuar como una máquina, en que cada uno es pieza vital.

Con el objeto de mantener la disciplina y organización, uno de los cinco miembros actúan como capitán. La estricta selección, formación y constante entrenamiento; hacen posible que cualquiera de ellos puede actuar como capitán, quién ordenará y dirigirá todos los trabajos. (1)(2)

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

(2) Ver Bibliografía. Punto 9.7

#### 5.5.5.1 Exploración.

Fundamentalmente los trabajos de exploración consiste en determinar la presencia de gases tóxicos y controlar la ventilación, revisión de galerías y determinar zonas de peligro. Todo piquete que entra en acción por primera vez y provistos de aparatos de respiración a oxígeno, puede hacer exploraciones que no se alejen más de 300 mts. (600 mts. ida y vuelta de la Base de Aire Fresco). Se puede rebasar la distancia mencionada si hay una seguridad razonable de salvar vidas; en caso contrario, arriesgar innecesariamente la vida de los rescatadores, es algo que no debe hacerse.

Hay circunstancias que obligan acortar la distancia de 300 mts. por las siguientes razones: inclinación acentuada de la galería, desprendimientos que obstruyen el camino; techo peligroso o tan baja que haga imposible permanecer erguido y una cantidad tal de humo en el aire, que la visibilidad está gravemente afectada.

Si el paso es tan bajo que la Brigada tenga que avanzar a gatas o reptando, no habrán de hacerse recorridos más de 15 mts.

#### 5.5.5.2 Salvamento de vidas.

Esta es la misión principal de un equipo de rescate de minas y es la razón por la cual se exige el conocimiento teórico y práctico de primeros auxilios, para que pueda proporcionarse atención adecuada a las víctimas.

Las emergencias que se producen en las minas, ocasionan lesiones más características como: intoxicación por monóxido de carbono, quemaduras y fracturas o heridas. El tratamiento que puede hacerse en el lugar mismo de la emergencia, no pasa más allá de solucionar el problema respiratorio del hombre y transportarlo lo más rápida - mente posible a la Base de aire fresco, en donde será atendido debidamente y luego enviado, con los cuidados que el caso requiere, al Hospital en superficie.

#### 5.5.5.3 Evacuación de Cadáveres

Habiendo posibilidades de salvar vidas: un piquete de rescate, por ninguna circunstancia, deben perder tiempo evacuando cadáveres, Esto deberá hacerse entonces, una vez que se ha terminado la evacuación del personal con posibilidad de salvarse.

#### 5.5.5.4 Lucha y extinción de siniestros

Cuando un incendio o explosión subterráneo no ha podido ser extinguido en la primera intervención utilizando los medios más comunes al alcance de todo personal (extinguidores, polvo de roca, arena, etc.), se hace necesario el ataque organizado del siniestro, con agua a alta presión y abundante, que es el mejor elemento extintor que existe.

El ataque del siniestro, debe hacerse en dirección del movimiento del aire y avanzando con el agua en forma sistemática, desde el extremo al centro. En la mina, atacar un incendio agravado, contra el viento, es muy difícil y peligroso, sólo se puede intentar si las condiciones son favorables y ha de ser con un equipo de hombres bien adiestrados, tanto en el uso y manejo de elementos previstos contra siniestros como aparatos de respiración a oxígeno, los cuales son indispensables por los gases irrespirables, producto de la combustión.

Para aquellos sectores de tráfico principal donde no exista red de agua a alta presión, se mantiene en la central de tráfico una bomba manual, que puede ser fácilmente trasladada al lugar de

emergencia. (1)(2)

#### 5.5.5.5 Reestablecimiento de la Ventilación en casos de explosión.

Cuando se produce una explosión en una labor - ciega o galería en desarrollo, la primera tarea que debe afrontar la Brigada de Salvamento es la evacuación de los lesionados y víctimas fatales que se produzcan. Una vez terminada esta faena, es necesario reestablecer la ventilación, por cuanto es casi seguro que los tubos o ductos de ventilación auxiliar serán destrozados o lanzados fuera de su sitio, en una extensión que variará de acuerdo a la longitud de la galería y potencia de la explosión.

Además es necesario considerar como muy probable que habrá destrucción de puertas de ventilación en las estocadas de comunicación.

Por estas razones, es casi seguro que la ventilación se verá seriamente afectada en el sector en que se produzca la emergencia, y será labor de la Brigada el reestablecimiento de ella. Para esto se debe trabajar en forma simultánea en la reposición de las puertas de ventilación, reparación o construcción de nuevos muros y en el reestable

cimiento de la ventilación.

Una vez asegurado el terreno y ventilación de la galería, podría el personal fortificar adecuadamente y normalizar la ventilación auxiliar según corresponda.

En caso de explosión de labores en explotación, es necesario reestablecer el circuito de ventilación cuando se produzcan derrumbes y obstrucciones en las galerías o en el frente mismo.<sup>(1)</sup>

#### 5.5.5.6 Confinamiento del siniestro.

Existe la posibilidad de tener que cerrar o sellar por varias razones, que son las principales:

- a) No existir en la zona o sector una red de agua a alta presión, contra siniestros.
- b) Que la extensión del foco del siniestro sea tanto, que exista el riesgo cierto de que se produzca una explosión que compromete a las personas empeñadas en apagar la emergencia.

Una vez decidida por la superioridad de la empresa, las Brigadas de Salvamento han de intervenir

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

en estos trabajos, sobre todo en lo que se refiere a la construcción de los tapones o sellos ya que estos, principalmente, habrán de hacerse con protección respiratoria.

Con la operación de sellar o taponar un laboreo se persigue impedir totalmente la entrada de aire al foco del incendio y apagarlo por sofocamiento al no haber más suministro de oxígeno mediante la construcción de tapones, primero provisionales y luego definitivos. (1)

#### 5.5.5.7 Reapertura de tapones

Una vez cerrado un laboreo es necesario hacer un control periódico de 24 horas de los gases en el interior de los confinamientos, para que las personas encargadas de decidir la reapertura de los tapones, tenga un conocimiento exacto de la composición ambiental del sector confinado.

La interpretación de los análisis de gases de la zona del siniestro, es la más importante para decidir cuando será razonablemente seguro abrir los tapones de la zona confinada, si en el análisis

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

sis se encuentra monóxido de carbono, indica que hay fuego activo o que existió, hasta hace muy poco tiempo atrás; el hecho de que no exista monóxido de carbono no es indicio determinante de que ya no exista combustión, sino que indica que probablemente han cesado las llamas y la combustión activa; no es conveniente abrir, hasta que no desaparezca totalmente el monóxido de carbono, y transcurra un tiempo suficientemente como para que se enfríe el foco del siniestro.

Antes de que se abra el laboreo confinado, el contenido del oxígeno ha de haber bajado a menos de 3% y preferiblemente baje a 1%, puesto que en esas condiciones habrán más posibilidades de hacerlo con seguridad, puesto que las posibilidades de formación de mezclas explosivas de ( $O_2 + CH_4$ ) serán menores.

El trabajo mismo entraña control estricto, principalmente de los gases que salen del taponado de la cabecera y disponer de piquetes listos para actuar ante una reavivación del siniestro.

También es conveniente que antes de ventilar el sector confinado, cuadrillas de reconocimiento explorarán la zona premunidos de aparatos de respiración a oxígeno a fin de contar con la máxima



información acerca del estado del terreno y constatar fehacientemente que el siniestro se ha extinguido en forma definitiva.<sup>(1)</sup>

#### 5.5.5.8 Recuperación de Labores taponados.

La operación de abrir tapones que confinan un siniestro es un trabajo delicado y encierra tantos peligros como levantar o construir los tapones provisionales.

No es posible fijar un procedimiento que abarque todas las circunstancias que se presentan en la recuperación de la zona incendiada.<sup>(1)</sup>

La recuperación misma puede hacerse según dos procedimientos:

- a) Recuperar el sector por parcialidades sucesivas, por medio de exclusión del aire, y
- b) Establecer circuitos de ventilación y ventilar normalmente, una vez que se han obtenido pruebas concluyentes de la extinción del siniestro.

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

## CAPITULO VI

### CALCULO DE COSTO EN LA PREVENCION Y CONTROL DE INCENDIO Y EXPLOSION

Todo proyecto o Programa de Seguridad debe estar sustentado en términos económicos de tal forma resulte rentable y beneficioso a la Empresa.

El cálculo de costo de prevención, es fundamental, para prevenir la máxima pérdida probable y determinar la inversión requerida, en evitar el siniestro.

#### 6.1 Elementos del Costo

Los elementos básicos del costo son:

##### COSTO

Es un concepto que expresa valorización cuantitativa en términos monetarios del conjunto

de gastos en seguridad, directos e indirectos efectuados en la actividad productiva hasta la obtención del producto final.

#### COSTOS FIJOS

Están constituidos por un conjunto de gastos en seguridad, cada uno de ellos y el total se mantiene siempre constantes para cualquier nivel de producción que la empresa desea producir, inclusive si la producción es nula. Ej., la depredación, de instalaciones, equipos de seguridad, etc., alquileres, sueldos de Ing<sup>o</sup> de Seguridad, policías particulares, etc,

#### COSTOS VARIABLES.

Están constituidas por un conjunto de gastos en seguridad, que varían directamente con la cantidad de producción. Es decir, cuanto mayor sea la cantidad producida, mayor será el empleo de materiales, medios y mano de obra en la preven-ción de riesgos durante la obtención de productos.

#### PRODUCTO

Es el fruto o resultado de una actividad productiva segura, ya sea tangible o intangible. El producto así obtenido, tiene la virtud principal

de satisfacer la necesidad del hombre.

#### PRODUCCION

Es el proceso de consumo de la fuerza de trabajo y creación industrial segura de los medios de producción y objetos para la existencia y desarrollo social.

También se entiende como la expresión cuantitativa, cualitativa y monetaria del producto.

#### PRODUCTIVIDAD

Es un indicador utilizado para medir la eficiencia de la producción segura. Significa producir más.

Es una relación entre la producción física total obtenida y uno o más factores seguros de inversión empleados (trabajo, capital materiales, administración, etc).

Productividad =  $\frac{\text{Producción obtenida}}{\text{Factores productivos empleados}}$

Factores productivos empleados

Factores productivos empleados : trabajo físico e intelectual, máquinas, equipos, materia prima, energía, tiempo, etc.

## 6.2 Factores que determinan el Costo de Prevención y control,

El cálculo de costo en la prevención y control de siniestros, depende de una serie de factores importantes que permiten pronosticar el grado de riesgo de una mina de carbón subterránea, por un período productivo o durante su vida útil,

### Estudio Geológico

El estudio o investigación geológica minuciosa de un yacimiento carbonífero, es de primera prioridad, antes de cualquier decisión.

La elaboración y ejecución del proyecto técnico, así como la construcción y explotación de la mina, se desarrolla basados en el material informativo detallado de la investigación geológica que debe tener un grado de precisión bastante elevada, por lo tanto, confiable, nos permite avizorar la necesidad y magnitud de prevención de los accidentes en general, particularmente incendios y explosiones.

El estudio determina los factores minero-geológicas siguientes:

- a) La calidad del carbón (bituminoso, antracita, etc.)
- b) Grado de metamorfosis (formación y edad del

- carbón)
- c) Contenido del gas metano y CO.
- d) Cualidades físico mecánicas del carbón y de las rocas.
- e) Peligro de silicosis y antracosis.
- f) Tendencia del carbón a la autocombustión.
- g) Estructura tectónica del yacimiento y profundidad.
- h) Composición del carbón
- i) Aguas subterráneas.
- j) Potencia del yacimiento
- k) Buzamiento
- e) Resistencia eléctrica
- m) Pronóstico de la estabilidad de las rocas encajantes del yacimiento.
- n) Rendimiento económico del yacimiento
- o) Determina las condiciones técnicas de explotación y
- p) Otros.

#### Tamaño de la Empresa Minera

El tamaño de la empresa minera está definida por su producción diaria, que indica la magnitud de la extracción minera.

A continuación se presenta la clasificación de la actividad minera, según su producción

diaria. (1)

CUADRO 6.1

TAMAÑO DE LA EMPRESA MINERA

EMPRESA MINERA	PRODUCCION TM/DIA
Pequeña minería	1 - 50
Mediana minería	50 - 500
Gran Minería	Más de 500

Fuente: Departamento de Ingeniería de Minas  
UNSJ. Argentina 1980. Curso Organización de Seguridad e Higiene de Minas.

Métodos de explotación.

Los métodos de explotación a emplearse tendrán que ser aquellos que se adecúen mejor a la producción segura y de alto rendimiento económico.

Niveles profundos

A medida que se pasa a niveles más profundos de las minas de carbon, los pronósticos de riesgos aumentan y adquieren mayor atención y

significa inversión adicional cada vez más.

### Rocas Encajantes

Es de gran importancia el pronóstico de la estabilidad de rocas encajantes del combustible sólido en las explotaciones mineras.

### Pronóstico de incendio y explosión

En base al estudio de los factores minero-geológicas y otros, el Ing° de Higiene y Seguridad, puede predecir la probabilidad de riesgo de incendio y explosión, además, en base al estudio de los datos estadísticos y similitud de mina de otros países y calificar la mina, según la probabilidad de posibles víctimas como:

#### CUADRO N° 6.2

##### EMPRESA MINERA SEGUN RIESGO

EMPRESA MINERA	% POSIBLES VICTIMAS
De menor riesgo	1 - 10%
De mediano riesgo o serias	10 - 30%
De alto riesgo (mayores o catastróficas)	30 -100%

Fuente: Progreb Nov, N.I. y Terentiev, E.V. Reconocimiento Geológico e Investigación para el pronóstico de las Condiciones. In:VI, Congreso Internacional de Minería. Madrid. Junio 1970.



Para estos diferentes grados de riesgo, el Ing° de Seguridad, puede pronosticar cuantitativamente la pérdida máxima probable que ocasionaría el siniestro, en caso de producirse al fallar absolutamente todo, además, calcular el costo de prevenir la pérdida máxima posible.

### 6.3 Clases de Inversiones en la Empresa

La inversión es hacer costo o sacrificio en el presente y continuo durante un período, con la esperanza que en un tiempo largo reciba un beneficio.

Las inversiones a nivel empresarial, según J. Dean y H. Peumans, se clasifica en los siguientes:

Inversión de Renovación.

Tienen por objeto sustituir un equipo en desuso o inservible, debido a la depreciación ocasionada por el desgaste, o a las averías producidas por continuos accidentes o a un factor externo como es el progreso técnico, por otro nuevo.

#### Inversiones de Expansión.

Debido a la necesidad de hacer frente a la mayor demanda, mediante ampliaciones o implementación de nuevas minas (fábricas) y equipo.

#### Inversiones de Innovación.

Paralelamente a la anterior, está destinada a bajar los costos, mejorar los productos, modificar los equipos, realizar investigaciones y perfeccionar el sistema.

#### Inversiones estratégicas.

Aquellas que tienen como objetivo la disminución de riesgos como consecuencia de la política de prevención, competencia y adelanto técnico y que se cristaliza en las medidas de seguridad, investigación, prestigio y buena imagen de la empresa.

Las inversiones desde el punto de vista del tiempo, son continuas, según las necesidades: a corto plazo, periódicas, a mediano y largo plazo.

Toda inversión está integrada en el plan general de inversiones de la empresa. Su realiza-

ción implica una serie de estudios y la fijación de objetivos, para un determinado tiempo, fijando previsiones de gastos e ingresos, en base a los datos proyectados, de experiencias anteriores o de otras minas con similares características, en función de los cuales se determinan las acciones y medios a seguir. De esta manera el Programa de inversiones reduce el grado de incertidumbre del futuro, materializando los objetivos por alcanzar.

Por lo general, los objetivos son de carácter económico y se traducen en presupuestos, que sirven de base para analizar tanto el plan de inversiones como el posible plan de financiación. (1)

#### 6.4 La Pérdida Máxima Probable

La pérdida máxima probable, está constituida por el daño causado a la empresa, por el siniestro, principalmente en los siguientes rubros: pérdida de capital humano, materiales, paralización, indemnización, sepelio, lucro cesante y colapso. (2)(3)

---

(1)y(2). Ver Bibliografía. Punto. 9.6.

(3) Ver Bibliografía. Punto 9.7.

#### 6.4.1 Componentes de la Pérdida Máxima probable

Las pérdidas más representativas y cuantificables, con fines de cálculo, son fundamentalmente las pérdidas que a continuación se mencionan:

##### Pérdida de capital humano (PCH)

Es posible predecir el número de víctimas, se sabe el grado de riesgo en función de mineros que han bajado a mina o según la cantidad de mineros en el lugar de la emergencia.<sup>(1)</sup>

La pérdida está constituida por los siguientes conceptos:

- 1) Todos los gastos efectuados en la incorporación (GI) a la empresa (publicidad, selección, examen, etc.), esta inversión representa el 10-20%<sup>(\*)</sup> del ingreso total anual del trabajador.
- 2) Todos los gastos efectuados en la preparación especializada (GPE), representa esta inversión, el equivalente a 30%<sup>(\*)</sup> del ingreso total anual del trabajador.

---

(\*) Establecido según datos estadísticos y experiencia de muchas empresas importantes.

- 3) Todos los gastos efectuados en la prevención de accidentes (GPA), Programas de educación en seguridad, entrenamiento, prácticas, etc.; representa esta inversión de 20-30%<sup>(\*)</sup> del ingreso total anual del trabajador,
- 4) Vida laboral productiva (VLP) en el Perú, - la expectativa de vida promedio de un trabajador minero es de 35 años, de los cuales 15 años son de vida laboral productiva a 250 días/año. Conociendo los años de trabajo de los mineros fallecidos y la última productividad registrada, se calcula la pérdida de la vida laboral productiva (PVLP), en términos de producción no percibido o pérdida.

La siguiente igualdad nos permite calcular la PCH:

$$PCH = GI + GPE + GPA + PVLP$$

---

(\*) Establecido según datos estadísticos y experiencia de muchas empresas importantes.

### Pérdidas Materiales (PM)

Está constituido por la pérdida del valor - real del bien en términos monetarios, así como la facilidad de restituirlo o sustituirlo, además de los productos extraídos y productos manufacturados en la región, que se ven afectados (máquinas, equipos, instalaciones en general, etc.)

Para el cálculo de la pérdida material, se considera el costo de adquisición de equipos, máquinas, etc., se resta la depreciación por los años de uso y se establece la posible pérdida del capital sin retorno, antes de que cubra la vida útil de las máquinas, equipos e instalaciones. (1)(2)

### Pérdida de la Producción por Paralización (PPP)

Es la pérdida por la detención de la actividad productiva, económica, siendo su reanudación - inmediata o con cierta demora sin mayores consecuencias. Ejemplo, el incendio localizado tiempo es dominado con el equipo extintor y la actividad es reanudada inmediatamente o después de horas, días, semanas, etc. (3)

---

(1) y (3) Ver Bibliografía. Punto. 9.6.

(2) Ver Bibliografía. Punto 9.7.

### Indemnización (PI)

Ley 18846 establece la compensación monetaria del daño o la reparación legal, a los familiares de las víctimas del accidente. (1)

### Sepelio (PS)

Ley 18846 fija 60 remuneraciones diarias por derecho de sepelio o entierro de las víctimas del accidente. (2)

### Lucrocesante

El accidente podría causar detención temporal de la producción, por lo tanto, pérdida económica y el seguro a tomarse por este concepto es lucrocesante.

En las minas de carbón, de explotación subterránea, las pérdidas o daños causados por incendios y explosiones, son riesgos no cubiertos por las compañías de seguros. (3)

### Colapso

Una empresa minera, a consecuencia del siniestro pierde trabajadores, equipos, maquinarias, material, instalaciones, stock, etc. en otras palabras su capital productivo y humano, enton-

---

(1)(2)(3) Ver Bibliografía. Punto 9.7.

ces, su situación económica se torna mala. En estas condiciones negativas, aún puede tener una situación financiera favorable, siempre y cuando cuente con liquidez o solvencia suficiente que le permita cubrir las indemnizaciones y sepelios, de las víctimas, costo de restitución de máquinas, equipos, nuevos trabajadores, capital de trabajo, etc., para reflotar y poner en actividad la mina.

Si no puede cubrir, como mínimo, el 50% del costo de reflotar, entonces, se dice que la empresa tiene situación financiera mala, por lo tanto, no tiene capacidad de endeudamiento y será difícil encontrar fuente de financiamiento en alguna entidad bancaria.

En estas condiciones desfavorables, la empresa minera es declarada en colapso, queda cerrada por un tiempo o definitivamente. (1)

#### 6.4.2 Cálculo de la pérdida máxima probable

El cálculo de la pérdida máxima probable (PMP) se obtiene al evaluar el daño posible que causaría el siniestro, para las peores condiciones en caso de fallar absolutamente todo.

---

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.7.



Está expresada por la siguiente igualdad:

$$PMP = PCH + PM + PPP + PI + PS \dots\dots (1)$$

Ejemplo:

Se tiene un proyecto minero de explotación subterránea, considerada de mediano riesgo, inicia sus operaciones en el año 1987. Su producción en el año 1 será de 330 TM/día, con una tasa de crecimiento anual de 5%, cuenta con 30 trabajadores/turno, el carbón cuesta US\$ 20/TM y el salario de los trabajadores es equivalente US\$ 4/día, y la tasa de Producción es el 9%

Solución.

Los cálculos se efectuarán en dólar, por ser una moneda estable y por ser más usado en la minería.

1) Cálculo de la pérdida del capital humano (PCH)

Por ser la mina de mediano riesgo, se puede pronosticar el 30% de las posibles víctimas:

$$N^{\circ} \text{ de víctimas} = 30 \frac{\text{min}}{\text{tur}} \times 0.30 = 9 \text{ mineros.}$$

a) Gastos de incorporación de los trabajadores (GI)

$$GI = \$4 \times 30d \times 12m \times 0.15 \times 9 \text{ ts} \quad \$ 1944$$

b) Gastos efectuados en preparación especializada (GPE)

$$GPE = \$4 \times 30d \times 12m \times 0.30 \times 9ts = \$3888$$

c) Gastos efectuados en la prevención de accidentes (GPA)

$$GPA = \$4 \times 30d \times 12m \times 0.25 \times 9ts = \$3240$$

d) Pérdida de vida laboral productiva (PVLP)

De nueve víctimas, cinco se inician en la actividad minera y otros cuatro, antes, ya trabajarón durante 10 años en otra empresa minera.

La productividad es:

$$\text{Productividad} = \frac{330 \text{ TM/día}}{\frac{30 \text{ mineros}}{\text{Turno}} \times 3 \text{ turnos}} = 3.6$$

$$\text{Productividad} = 3.6 = 4 \text{ TM/mineros-día}$$

La VLP en una mina es de 15 años y representa el 100% para las víctimas es como sigue:

Su VLP de 5 víctimas era de 15 años c/u, recién se iniciaban.

A los otros 4, sólo les quedaba 5 años - c/u o sea 33% de VLP cálculos:

$$\begin{aligned} \text{PVLP(nuevos)} &= 5 \text{ min} \times 4 \text{ TM/mín-día} \times 250 \text{ d/año} \times \\ &\quad \$ 20/\text{TM} \times 15 \text{ años.} \\ &= \$ 1'500,000 \end{aligned}$$

$$\text{PVLP}(\text{con exp.}) = 4 \text{ min} \times 4 \text{ TM/min-Día} \times 250 \text{ d/año} \times \$20/\text{TM} \times 15 \text{ años}$$

$$\text{PVLP}(\text{con exp.}) = \$ 400,000$$

Por lo tanto, será:

$$\text{PVLP} = \$ (1'500,000 + 400,000) = \$ 1'900,000$$

Reemplazando valores se obtiene:

$$\text{PCH} = \text{GI} + \text{GPE} + \text{GPA} + \text{PVLP}$$

$$\text{PCH} = \$ (1944 + 3888 + 3240 + 1'900,000) = \$ 1'909,072$$

## 2) Cálculo de las pérdidas materiales

$$\text{Al evaluar se determina: PM} = \$ 500,000$$

## 3) Cálculo de la pérdida de producción por paralización (PPP)

El accidente causó paralización de 10 días.

$$\text{PPP} = 330 \text{ TM/día} \times 10 \text{ días} \times \$ 20/\text{TM} = \$ 66,000$$

## 4) Por indemnización

Conforme Ley 18846 le corresponde a la familia el 50% de la remuneración mensual que percibía el fallecido.

$$\text{PI} = \$4 \times 30 \text{ d} \times 12 \text{ m} \times 0.5 \times 9 \text{ vic} = \$ 6480$$

## 5) Por sepelio

Conforme Ley 18846 le corresponde a la víctima 60 remuneraciones diarias.

$$PS = \$ 4 \times 60 \times 9 \text{ vic} = \$ 2,160$$

Reemplazando los valores en la ecuación (1) se obtiene :

$$PMP = PCH + PM + PPP + PI + PS$$

$$PMP = \$ (1'909,072 + 500,000 + 66,000 + 6480 + 2,160)$$

$$PMP = \$ 2'483,712$$

Pérdida Máxima Probable proyectada.

Varía, según, varía la producción y el costo de producción. Ver en el cuadro No. 6.3.

La tasa de crecimiento de la producción es 5% anual y el costo de producción crece en 9%.

Aplicando la siguiente fórmula se obtiene la proyección :

$$P = P_0 (1 + r)^n$$

donde: .

P = Producción final

P<sub>0</sub> = Producción inicial

r = tasa de crecimiento

n = período o tiempo

CUADRO N° 6.3

## PERDIDA MAXIMA PROBABLE

AÑO	n	PRODUCCION TM/ANUAL	COSTO DE PRODUCCION	PMP \$
1987	1	118,800	2'376,000	2'483,712
1988	2	130,977	2'619,540	2'750,517
1989	3	137,526	2'750,517	2'874,290
1990	4	144,402	2'888,043	3'018,004
1991	5	151,622	3'032,445	3'168,905

Con la relación de PMP y el costo de producción se obtiene la tasa de pérdida (TP) por cada unidad invertida en la producción.

$$TP = PMP / \text{Costo de Producción.}$$

Ejemplo:

$$TP = 2'483,712 / 2'376,000 = 1.045 \approx 1.05$$

Este indicador, nos dice que por \$1 invertido en la producción se puede perder \$ 1.05 en otras palabras, nos dice: que por invertir \$1 se puede perder el 105%.

6.5 Costo de Prevención de la Pérdida Máxima Probable.

La alta dirección de la empresa minera, tendrá que tomar conciencia del pronóstico de la pérdida obtenida y establecer una política de acuerdo el grado de riesgo de la mina.

En toda mina de carbón de explotación subterránea, la política a adoptar será: primero exigir seguridad y después producción.

El monto de las inversiones, estará proporcionado por los respectivos presupuestos correspondientes a cada plan o programa de producción y los diversos elementos que conforman el Plan de seguridad del proyecto o empresa en operación.

Dichos presupuestos en los cuales están incluidos los gastos administrativos, indicarán en orden de prioridad las respectivas cantidades por invertir durante la vida útil del proyecto. Para realizar de manera satisfactoria el objeto se han determinado los siguientes presupuestos sobre los cuales se tienen que realizar las inversiones. (1)

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

El % de las inversiones, han sido establecidas, del estudio estadístico detallado y comparativo de los presupuestos de muchas empresas importantes.

CUADRO N° 6.4

PRESUPUESTO DE PREVENCIÓN DE RIESGOS

R I E S G O S	% COSTO DE PREVENCIÓN
Presupuesto de Preven.Riesgos de Incendio y Explosión.	10-20% de Costo de Producción.
Presupuesto de Preven.Riesgos de Personal	2-3% del Costo de Producción.
Presupuesto de Preven.Riesgos de Materiales y Equipo.	2% del Costo de Producción.
Presupuesto de Produc. de Riesgos del Medio ambiente	5% del costo de Producción.
Presupuesto de Prev. de Riesgos Relativos, Ptos. Trabajo.	1% del costo de producción.
Presupuesto de Prevención a invertir	20-31% del Costo de producción.

Fuente: Ramírez. C.C. Seguridad Industrial. Mexico 1986.

Ejemplo: Cálculo de costo para el proyecto supuesto que empieza a operar (la Empresa) en el año 1987.

CUADRO N° 6.5

## CALCULO DE COSTO DE PREVENCIÓN

RIESGOS A PREVENIR	% x COSTO PROD.	\$ COSTO DE PREV.
Presup.Prev.Riesg.Inc. Exp.	0.15 x 2'376,000	356,400
Presup.Prev.Riesg.Per_sonal	0.02 x 2'376,000	47,520
Presup.Prev.Riesg.Mat. y Equipo	0.02 x 2'376,000	47,520
Presup.Prev.Riesg.Med. Ambiente	0.05 x 2'376,000	118,800
Presup.Prev.Riesg.Ptos Trab.	0.01 x 2'376,000	23,760
Costo de Prevención Total:		594,000

Empleando métodos de pronóstico se profundiza los cálculos, para medir cada variable del costo de producción y costo de prevención de pérdidas, según su importancia se interrelacionan sus variaciones.

Para esta relación existente y por el método de los mínimos cuadrados, obtenemos la ecuación de la recta de costos de prevención de pérdidas,



y su ecuación es de la forma :

$$Y = a + bX \quad (1)$$

donde X es el costo de producción y las fórmulas operacionales convenientes para el cálculo de los parámetros 'a' y 'b', son como siguen :

$$a = \frac{\Sigma Y \Sigma X^2 - \Sigma X \Sigma XY}{n \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2} \quad (2)$$

$$b = \frac{n \Sigma XY - \Sigma X \Sigma Y}{n \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2}$$

Dicho método se da cuando se trata de ajustar una recta de regresión representados como puntos a fin de estudiar y establecer el error típico (S) y el coeficiente de correlación (r) y están definidas por medio de las siguientes fórmulas:

$$S = \sqrt{\frac{\Sigma Y^2 - a \Sigma Y - b \Sigma XY}{n}}$$

$$r = \frac{n \Sigma XY - \Sigma X \Sigma Y}{\sqrt{(n \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2)(n \Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2)}}$$

Para el cálculo de los parámetros 'a' y 'b', todos los datos están tabulados en el cuadro N° 6.6.

CUADRO N° 6.6

CALCULO DE LA ECUACION DE COSTO DE PREVENCION POR EL  
METODO DE LOS MINIMOS CUADRADOS

AÑO	n	COSTO PRODUC. x	COSTO PREV. PERDIDAS y	xy	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>
1987	1	2'376,000	594,000	1.4 x 10 <sup>12</sup>	5.6 x 10 <sup>12</sup>	3.5 x 10 <sup>11</sup>
1988	2	2'619,540	654,885	1.7 x 10 <sup>12</sup>	6.8 x 10 <sup>12</sup>	4.28 x 10 <sup>11</sup>
1989	3	2'750,517	687,629	1.8 x 10 <sup>12</sup>	7.6 x 10 <sup>12</sup>	4.7 x 10 <sup>11</sup>
1990	4	2'888,043	722,010	2.08 x 10 <sup>12</sup>	8.3 x 10 <sup>12</sup>	5.2 x 10 <sup>11</sup>
1991	5	3'032,445	758,111	2.3 x 10 <sup>12</sup>	9.19 x 10 <sup>12</sup>	5.7 x 10 <sup>11</sup>

$$n = 5 \quad \Sigma X = 13'666,545 \quad \Sigma Y = 3'416,636 \quad \Sigma XY = 9.28 \times 10^{12}$$

$$\Sigma X^2 = 3.7 \times 10^{13} \quad \Sigma Y^2 = 2.3 \times 10^{12}$$

Reemplazando valores :

$$a = \frac{\Sigma Y \Sigma X^2 - \Sigma X \Sigma XY}{n \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2} = \frac{3'416,636 \times 3.7 \times 10^{13} - 13'666,545 \times 9.3 \times 10^{12}}{5 \times 3.7 \times 10^{13} - (13'666,545)^2}$$

$$a = 231,055$$

$$b = \frac{n \Sigma XY - \Sigma X \Sigma Y}{n \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2} = \frac{5 \times 9.34 \times 10^{12} - 13'666,545 \times 3'416,636}{5 \times 3.7 \times 10^{13} - (13'666,545)^2}$$

$$b = 0.165$$

Estos valores de 'a' y 'b' se reemplazan en la ecuación (1), obtenemos la recta de costo de prevención de pérdidas definida como :

$y' = 231,055 + 0.165X$  y la representación gráfica se puede ver en la gráfica N° 6.1.

Estimación del error típico (S) :

$$S = \sqrt{\frac{\sum y^2 - a\sum y - b\sum xy}{n}} = \sqrt{\frac{2.3 \times 10^{12} - 231055 \times 3416636 - 0.165 \times 9 \times 10^{12}}{5}}$$

$$S = + \$ 71,511$$

Para establecer una medida de la relación entre dos variables de costo de producción y el costo de prevención de pérdidas es necesario calcular el coeficiente de correlación "r", con la siguiente fórmula :

$$r = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{(n\sum X^2 - (\sum X)^2)(n\sum Y^2 - (\sum Y)^2)}}$$

$$r = \frac{5 \times 9.34 \times 10^{12} - 13'666,545 \times 3'416,636}{\sqrt{(5 \times 5.7 \times 10^{13} - (13'666,645)^2)(5 \times 2.3 \times 10^{12} - (34'416,636)^2)}}$$

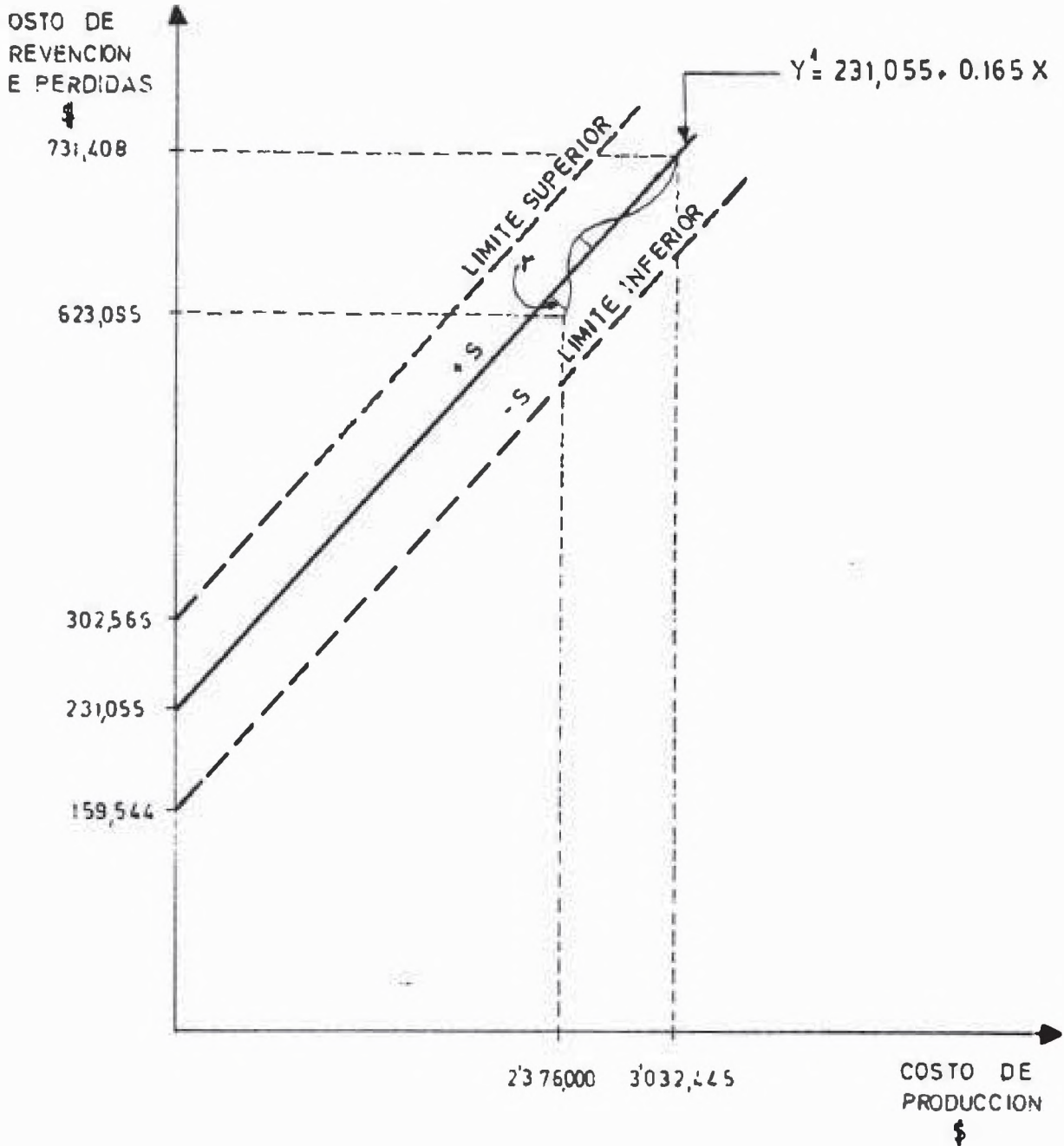
$$r = 0.0115 \quad 1.15\%$$

Con la ecuación de costos de prevención de pérdidas :

$y' = 231,055 + 0.165X$  se calcula el costo de prevención de pérdidas para los próximos 5 años, ver C-6.7.

GRAFICA 6.1

REPRESENTACION GRAFICA DEL COSTO DE PREVENCIÓN



CUADRO N° 6.7

## CALCULO DE COSTO DE PREVENCION DE PERDIDAS

ARO	n	$y' = 231055 + 0.165x$	= \$Costo de Preven. de Pérdidas.
1987	1	$231055 + 0.165 \times 2 = 376,000$	623,095
1988	2	$231055 + 0.165 \times 2 = 619,540$	663,279
1989	3	$231055 + 0.165 \times 2 = 750,517$	684,890
1990	4	$231055 + 0.165 \times 2 = 888,043$	707,582
1991	5	$231055 + 0.165 \times 3 = 032,445$	731,408

### 6.6 Justificación Económica de la Prevención y Control de Riesgos

En todo análisis de rentabilidad de proyectos o empresas en operación, el inversionista se vale de una serie de procedimientos, entre los cuales los más conocidos son: el criterio del beneficio actualizado, el de la tasa de rentabilidad media (tasa interna de retorno), el de tiempo de recuperación y los criterios de rentabilidad sacadas del análisis contable. (1)(2)

(1) Ver Bibliografía. Punto 9.6.

(2) Ver Bibliografía. Punto 9.7.

Rentabilidad

La rentabilidad nos permite conocer la utilidad-bruta que se está generando por cada unidad monetaria que se invierte, y se calcula como :

$$\text{Rentabilidad} = \frac{\text{Utilidad Bruta}}{\text{Costo de producción}}$$

Ejemplo : la rentabilidad mínima de la empresa es de 150% (empresa supuesta en el ejemplo anterior).

Utilidad bruta = Costo de Producción x 150%

Costo de Producción.- Incluye costo de explotación, costos administrativos, financieros y seguridad.

Utilidad Neta = Utilidad bruta-Costos de Produc.

Retorno sobre Patrimonio Neto (RPN).- Nos permite calcular el porcentaje que obtienen los accionistas como retorno anual de la inversión original ( $I_0$ ) y se calcula por :

$$\text{RPN} = \frac{\text{Utilidad Neta}}{\text{Inversión Original } (I_0)}$$

Ejemplo, para el caso de la empresa supuesta la inversión original ( $I_0$ ) es del orden de \$3'000,000 y de Utilidad Neta de \$ 1'188,000, obteniendo el retorno sobre patrimonio neto (RPN) de:

$$\text{RPN} = \frac{\text{Utilidad Neta}}{\text{Inversión Original } (I_0)}$$

$$\text{RPN} = \frac{1'188,000}{3'000,000}$$

$$\text{RPN} = 40\%$$

### Ganancia o Beneficio económico

Son ventajas expresadas en términos monetarios que recibe el propietario, como resultado de un período productivo, Ver el C-6.8.

### CUADRO N° 6.8

#### CALCULO DE BENEFICIO

AÑO	n	COSTO DE PRODUCC.	UTILIDAD BRUTA	UTILIDAD NETA	RETORNO I <sub>o</sub>	GANANCIA O BENEFICIO
1987	1	2,376.000	3'564,000	1'188,000	475,200	712,800
1988	2	2'619,540	3'929,310	1'309,770	523,908	785,862
1989	3	2'750,517	4'125,775	1'375,258	550,103	825,155
1990	4	2'888,043	4'332,064	1'444,021	577,488	866,413
1991	5	3'032,445	4'548,667	1'416,222	566,588	849,733

Casos que se presentan en función de comparación, ver los cuadros 6.9 y 6.10

Caso 1 : Hay conciencia de seguridad, se invierte en la prevención de riesgos, Ver en el C-6.9.

CUADRO N° 6.9

## CUADRO COMPARATIVO

AÑO	COSTO DE PRODUCCION	PMP	COSTO DE PRE-VENCION	GANANCIA SIN ACCIDENTE
1987	2'376,000	2'483,712	623,095	712,800
1988	2'619,540	2'750,517	663,279	785,862
1989	2'750,517	2'874,290	684,890	825,155
1990	2'888,043	3'018,004	707,582	866,413
1991	3'032,445	3'168,905	731,408	849,733

Caso 2: No hay conciencia de seguridad, no se invierte suficiente en la prevención de riesgos, Ver en C - 6.10

CUADRO N° 6.10

## CUADRO COMPARATIVO

AÑO	COSTO DE PRODUC.	PMP	COSTO DE PREVENC.	BENEFICIO	PERDIDA DE BENEFICIO
1987	2'376,000	2'483,712	1,700	1,200	711,600
1988	2'619,540	2'750,517	1,800	11,320	774,542
1989	2'750,517	2'874,290	3,000	900	824,255
1990	2'888,043	3'018,004	4,000	20,000	846,413
1991	3'032,445	3'168,905	4,500	200,000	649,733



Grado de seguridad de la prevención de riesgos.

Para medir los beneficios que brinda la seguridad a la empresa, se ha establecido una relación entre los beneficios económicos obtenidos, que en otras palabras es la seguridad (igual al beneficio de una actividad económica) y el costo de pre ven ción. (1)

1) Para los períodos productivos sin accidentes.

Grado de seguridad de la prevención =  $\frac{\text{Seguridad}}{\text{Costo de Prev.}}$

CUADRO N° 6.11

CALCULO DEL GRADO DE SEGURIDAD

AÑO	COSTO DE PREVENCION	BENEFICIO O SEGURIDAD	GRADO DE SEG. PREVENCION
1987	623,095	712,800	1.14
1988	663,279	785,862	1.18
1989	684,890	825,155	1.12
1990	707,582	866,413	1.22
1991	731,408	849,733	1.16

Del cuadro N°6.11 la cantidad 1.14 nos indica que \$1 invertido en prevención de riesgos, brindó beneficios a la empresa en 1.14 veces, por lo tan to, la inversión en seguridad tiene un efecto-multiplicador. Pueden presentarse casos como:

S/C	>	1	Hay beneficio No hay accidentes
S/C	=	1	Beneficio igual al costo Hubo accidentes.
S/C	<	1	Hay beneficio menor que el costo Hubo accidentes.
S/C	=	0	No hay beneficio de seguridad Hubo accidentes.
donde :	S		significa seguridad y
	C		significa costo de prevención.

2) Para los períodos productivos con accidentes

$$\text{Grado de Seguridad de Prev.} = \frac{\text{Seguridad} - \text{Inseguridad}}{\text{Costo de prevención}}$$

Inseguridad = Pérdida de beneficio

Se pueden ver en el cuadro N° 6.12 los grados de se guridad calculados.

CUADRO N° 6.12CALCULO DEL GRADO DE SEGURIDAD

AÑO	COSTO DE PREV. PMP	SEGURIDAD	INSEGURIDAD	GRADO SEG. PREV.
1987	1,700	1,200	711,600	-418
1988	1,800	11,320	774,542	-424
1989	3,000	900	824,255	-274
1990	4,000	20,000	846,413	-206
1991	4,500	200,000	649,733	-99.9

Del cuadro N°6.12, se dice que existe una inseguridad de 418 veces que el costo de prevención invertido, lo que quiere decir también, hay riesgo de 418 veces de pérdida por cada dólar invertido, casos que se presentan:

$$\frac{S - I}{C} > 1 \quad \text{Si} \quad \begin{matrix} I = 0 \\ S > I \end{matrix}$$

$$\frac{S - I}{C} = 0 \quad \text{Si} \quad S = I$$

$$\frac{S - I}{C} < -1 \quad \text{Si} \quad \begin{matrix} S = 0 \\ I > S \end{matrix}$$

donde:

S significa Seguridad

I significa Inseguridad

C significa Costo de prevención.

## CAPITULO VII

### CONCLUSIONES

En esta parte, la Tesis contiene, la síntesis o el resultado obtenido, después, de un cuidadoso estudio, elaboración y desarrollo del Plan de Tesis.

A continuación se presenta las conclusiones en forma sistemática, siguiendo una secuencia lógica, que ayude mejor su comprensión.

#### 7.1 Antecedentes Históricos

Los datos estadísticos de los accidentes ocurridos en el Perú y a nivel mundial, demuestran - que el incendio y explosión del gas grisú y polvo de carbón, en la explotación subterránea de las minas de carbón, han producido verdaderas - catástrofes; a consecuencia de estos fenómenos,

han muerto centenares de mineros.

Por lo tanto, los accidentes son fatales y -  
siempre colectivos.

## 7.2 Métodos de Explotación

La inversión en la prospección y explotación del carbón, es insignificante comparada con la elevada inversión que necesita el petróleo.

Los métodos que mejor se adaptan para la explotación de los carbones peruanos son: por cámaras y pilares y paredes largas o Long Wall, por su bajo costo y seguridad.

Las variedades de carbón existentes en el Perú son: bituminosas, hullas, antracitas, lignitos, asfaltitas y turbas.

## 7.3 Generación de Incendio y Explosión

Los carbones están generalmente compuestos de:

- a) Carbón fijo
- b) Materiales volátiles
- c) Humedad
- d) Cenizas
- e) Azufre

- El grisú se forma por la putrefacción o descomposición de materiales vegetales, siendo por lo tanto, una consecuencia de la intracarbonización, en relación con el proceso geoquímico, pudiendo ser favorecidas por procesos orogénicos y otros fenómenos tectónicos. Que quedaron aprisionados en la masa del carbón entre los terrenos que forman la caja, almacenándose bajo presión.
- Del análisis del gas grisú, se ha determinado en diferentes países, que principalmente está formado por el gas metano de 77-96% por lo tanto, sus propiedades más características son del gas metano y se conoce por ello, como gas metano.
- Según la experiencia de M. Llord y Le Chatelier se inflama a la temperatura de 650°C, aunque ya existe una combustión lenta sin llama, en presencia de cuerpos porosos puede empezar a 200° C.
- Su límite de explosividad es de 5-15%, dentro de este margen se producen explosiones y fuera de estos límites se produce la combustión tranquila.

- Las partículas de carbón tiene la capacidad de absorber y adsorber oxígeno del aire.
- La temperatura de ignición del polvo de carbón fino y seco es de 700-800°C por lo tanto, todas las fuentes que encienden el metano pueden encender al polvo.

Las partículas más finas, menores a 100 micras son los que tienen influencia sobre la ignición, violencia y velocidad de propagación de la explosión.

- Su límite de explosividad es: 70-100 gr/m<sup>3</sup> de aire, límite inferior y superior es de 400 gr/m<sup>3</sup> de aire. Cuando la inflamación del polvo ha sido provocada por una explosión de grisú o explosivos sólo la existencia de 23 gr/m<sup>3</sup> de aire de polvo muy fino es capaz de propagar una explosión. Disminuye su límite de explosividad, además por cada 1% de contenido de metano en 15-20 grs. de polvo de carbón por m<sup>3</sup> de aire.
- Los incendios más frecuentes son causados por un fuego, una explosión de grisú de polvo de carbón,

deflagración de explosivos, un cortocircuito, electricidad estática, negligencia de mineros.

- La oxidación del carbón se inicia a temperatura ambiental desde el momento del arranque, perdiendo su brillo para tomar un aspecto mate, en este proceso de oxidación se produce calentamiento espontáneo y al calentarse adquiere la propiedad de desprender con facilidad los materiales volátiles combustibles.

Al acumularse el calor, eleva la temperatura, - llegada a  $65^{\circ}\text{C}$  la oxidación es muy rápida, alcanzando temperaturas elevadas.

- La velocidad de propagación del metano es baja, sin embargo, suele ser mayor cuando la mezcla de gas está en movimiento y crece considerablemente, superando la velocidad del sonido de 340-2300 m/s en el lugar de la explosión se produce una elevación de presión, de modo que la explosión se propague bajo presión. Esto sucede fácilmente en una mina.

- La velocidad de la explosión depende esencialmente de la magnitud de la superficie del polvo



de carbón, que a su vez está determinada por la finura de partículas. La velocidad puede alcanzar 915 m/s, aún más si existe algún contenido de metano a 2000 m/s.

- Los productos resultantes del incendio y explosión son: llamas, calor, gases (CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>) humos y los efectos mecánicos y destructores de la explosión.
  
- Como consecuencia de los efectos mecánicos de la explosión, las personas son elevadas, lanzadas, aplastados, asfixiadas, quemados, sostenimientos destrozados, hundimientos, voladura de puertas y tapones, sistemas de ventilación destrozados, derrumbes, deformación de rieles, carros, etc.

#### 7.4 Prevención y Control

Toda mina de carbón de explotación subterránea, por sus características, por su tamaño, por el riesgo que representa, etc., viene a ser un problema propio de cada mina, por lo tanto, las medidias preventivas, a tomar serán propias a cada mina.

- La política a seguir en toda mina de carbón debe ser: primero se exige seguridad y después producción.
- Durante el diseño y elaboración del proyecto minero de explotación de carbón subterráneo, es el mejor momento para establecer las posibles medidas preventivas, con singular importancia respecto al incendio y explosión, por ser el riesgo potencial.
- Todo programa de prevención, será eficiente siempre y cuando evite el inicio del incendio y explosión, en la práctica, por lo tanto, garantizará la seguridad de las personas y la propiedad.
- La evaluación ininterrumpida de las concentraciones de los gases y polvo de carbón en el ambiente de la mina, para verificar y controlar si se encuentran por debajo de los límites permisibles, es la medida de primer orden. En la actualidad se cuenta con equipos electrónicos -digitales- que nos proporciona información rápida y confiable. Por lo tanto,

las medidas correctivas se toman inmediatamente, ya sea en forma automática o utilizando los medios tradicionales.

- Se necesita una buena ventilación, prevista para las diferentes circunstancias adversas o de emergencia que pudiera presentarse en la mina. Es importante que tenga una eficiencia probada, de ser así, nos permite diluir los gases explosivos e inflamables y los polvos de carbón, evitando de esta forma el inicio del incendio y explosión. Además diluir, otros gases asfixiantes, tóxicos, haciéndolas inofensivas para la salud de los trabajadores, en otros casos para regular la temperatura en minas calientes y otros casos bajar la humedad.
- La medida principal contra la explosión de polvo de carbón, es prevenir o evitar la formación y acumulación de polvo, el método más efectivo es la infusión de agua en las vetas, se emplea utilizando diferentes sistemas: riego de arrancadoras, agua en bolsas de plástico, riego con inyectoras y rociadores.

- Emplear polvo inerte abundante para controlar el polvo de carbón asentado en el piso, paredes, techo y enmaderado de las labores, teniendo en cuenta que una mezcla de metano y polvo de carbón puede resultar explosiva aún cuando sus concentraciones son inferiores a sus límites de explosividad.
  
- La protección son un conjunto de medidas o procedimientos de prevención que están dirigidos a minimizar el riesgo de incendio y explosión, una vez iniciada. En defensa fundamentalmente de la vida de los trabajadores y la preservación de la propiedad.  
En el presente estudio se presenta una serie de métodos manuales y automáticos, para la protección de los trabajadores, equipos, máquinas instalaciones, que se utilizan de acuerdo a las necesidades y circunstancias propias de cada mina.
  
- Los dispositivos legales en la Reglamentación del Sector Minas, en el Título Segundo de la Tercera parte de la Ley Orgánica de Minería,

en el artículo N°238, especifica claramente que no se podrá usar extintores químicos, cuyos gases nocivos pueden contaminar el aire de la mina. Por lo tanto, se descarta el uso de gas carbónico, los halogenados, muy raras veces polvo químico seco.

- Los métodos de mayor efectividad en el control de incendio y explosión en las minas de carbón son: por enfriamiento y por sofocamiento, en forma combinada resulta muy eficaz, para evitar su propagación y extinción del siniestro.
- El agua es el agente extintor más indicado, debido a sus propiedades físicas, por su bajo costo, por ser un elemento de apoyo a la producción, por encontrarse en cualquier lugar y por tener una toxicidad nula para la salud de los mineros. Asimismo se utiliza el polvo de roca y arena.
- Toda mina de carbón, contará con un programa contra incendio y explosión y un plan de emergencia como parte del programa sólidamente organizada. La Gerencia de la empresa tiene la responsabilidad y obligación de decidir la implementación y

- puesta en práctica de un plan que tenga en cuenta todas las posibilidades que requiera la emergencia con el mismo grado de organización y eficacia administrativa que otros departamentos de producción.
- El Plan de Emergencia y todo Programa de seguridad, estará de conformidad con el Reglamento de la Ley General de Minería N° 18880 que estipula en el Art. N° 436, dice: contará con cuadrillas de salvamento Minero permanente adiestrados y provistos de implementos para llevar a cabo sus funciones en caso de emergencia.
  - El personal de salvataje, es el encargado de actuar en caso de emergencia a proceder al rescate de los heridos, atrapados, víctimas del lugar del siniestro, en control y lucha de incendios, explosiones. Son personas adiestradas en el ataque directo e indirecto del siniestro y recuperación de las labores.
  - La selección de los miembros de salvataje, es muy estricto y cuidadoso, los atributos personales y exigencias de las condiciones físico-mental

les, moral, buenos hábitos, disciplina, etc., son cualidades indispensables.

### 7.5 Cálculo de Costo de Prevención

- La inversión en seguridad, no debe considerarse como un gasto más, que aumenta el costo de producción, sino como una inversión que disminuye el costo de producción, eleva los beneficios monetarios para la empresa.
- El costo de prevención varía con el volumen de la producción.
- Se mide los beneficios que brinda la seguridad a la empresa, mediante relaciones de seguridad/costo de prevención y puede presentarse los siguientes casos:

$$S/c > 1 \quad , \quad S/C = 1 \quad , \quad S/C < 1 \quad , \quad S/C = 0$$

## CAPITULO VIII

### RECOMENDACIONES

- Se recomienda que todo proyecto de explotación de minas de carbón subterráneas, debe tener - siempre presente los riesgos de incendio y explosión. La única forma de evitar desastres - es prevenir, antes que lamentar.
- Toda empresa minera de carbón deberá tener su Departamento de Seguridad bien implementado de acuerdo al grado de riesgo de la mina.
- Toda persona que trabaja en una mina de carbón, debe recibir preparación en seguridad-en el conocimiento de sus propiedades del gas grisú, polvo de carbón y sus efectos destructores-en salva -



guarda de su integridad y la empresa.

- Los equipos, instrumentos de evaluación y control de los gérmenes de incendio y explosión, serán de alta precisión y rapidez; de esta forma permitirá tomar medidas correctivas oportunas y precisas, evitando así el inicio del siniestro.
- Los ventiladores deberán construirse y situarse de manera que se reduzcan los riesgos de deterioro en caso de explosión e instalarse en cajas cerradas y resistentes al fuego. Además, se dispondrá de ventiladores de socorro y estarán alimentados por un circuito de energía independiente del circuito principal de la mina.
- Clausurar y sellar todos los lugares abandonados de la mina, lo mismo aquellos que no serán trabajados por un largo período y no pueden ser ventilados.
- La mina se dividirá en secciones independientes de manera que en ninguna de ellas se encuentren

simultáneamente más de 100 personas. Cada una de estas secciones deberán formar un circuito de ventilación completamente aislado de los demás.

## CAPITULO IX

### BIBLIOGRAFIA

La bibliografía revisada es numerosa, sólo a continuación se presenta, aquellos en donde se encontró información, y por lo tanto, sirvieron como fuente de consulta relativo al carbón o es pecíficamente acerca de la prevención de siniestros en la explotación de las minas de carbón, en el Perú y otros países del Mundo.

#### 9.1 Periódicos.

COMERCIO, Gran Incendio en una Mina, 12 de Marzo 1906, Lima-Perú.

COMERCIO, Se produjo una explosión en una Mina, 7 de Diciembre, 1907-Lima-Perú.

COMERCIO, Se produjo una terrible Explosión,  
20 de Diciembre, 1907-Lima,Perú.

COMERCIO, Explosión de Grisú mueren 259 mine-  
ros, 14 de Noviembre 1909. Lima-Perú.

COMERCIO, Catástrofe Minero Muertos y Heridos,  
11 de Agosto 1910, Lima-Perú.

COMERCIO, Catástrofe Originada por una explo-  
sión, 23 de Enero de 1910, Lima-Perú.

COMERCIO, Explosión mata 280 mineros, 23 de Oc-  
tubre 1913, Lima-Perú.

COMERCIO, Desastres ocurridos en Minas de E.U.  
14 de Noviembre de 1913, Lima-Perú.

COMERCIO, Murieron 687 personas por explosión  
de gas, 16 de Diciembre 1915, Lima-Perú.

COMERCIO, Mineros atrapados en el Fondo de la  
Mina, 9 de Agosto 1956, Lima-Perú.

COMERCIO, Mineros atrapados por deslizamientos  
de rocas, 22 de Enero 1960,Lima-Perú.

COMERCIO, Una violenta explosión provocó derrumbe en Mina, 8 de Febrero 1962, Lima-Perú.

COMERCIO, Se produjo una Poderosa explosión de gas grisú, 10 de Noviembre de 1963, Lima-Perú.

COMERCIO, Más de 45 Muertos a causa de explosión en una Mina de Pasco, 21 de Diciembre de 1964, Lima-Perú.

COMERCIO, Misteriosa explosión se propagó por toda la Mina, 18 de Mayo 1965, Lima-Perú.

COMERCIO, A consecuencia de una explosión mina quedó en escombros, 29 de Mayo de 1965, Lima-Perú.

COMERCIO, Explosión de gas produjo fuego y asfixia, 2 de Junio 1965, Lima-Perú.

COMERCIO, Explosión de gas grisú en una mina, 31 de Diciembre 1970, Lima-Perú.

COMERCIO, Una estruendosa explosión sacudió una mina, 7 de Junio 1972, Lima-Perú.

COMERCIO, A causa de explosión quedaron mine-  
ros atrapados, 28 de Diciembre, 1975. Lima-Perú.

COMERCIO, Desastre en una mina de Taiwan, 6 de  
Diciembre 1984, Lima-Perú.

COMERCIO, Gas metano produjo una explosión en  
mina, 26 de Enero 1985. Lima-Perú.

## 9.2 Informes referentes a Estudio de Carbón.

Documentos del Banco Minero del Perú.

KNAPP, H.H.- Método de Minería. Carbonera Pa-  
llasca. Lima. Junio 1942.

GIVEN, I.A.- Industria del Carbón del Santa.  
Lima, 1943.

SOLAR, C. & GARCIA, A.- La zona carbonera de  
Oyón, sus posibilidades Económicas. Lima  
Abril 1946.

DULANTO, O.D.- Informe sobre la inspección rea-  
lizada en los trabajos efectuados en las -  
minas de carbón de Oyón. Lima, Julio 1948.

SILVA, J.C.- Informe sobre Carbonera Ancos S.  
A. Lima, Mayo 1950.

- BENNETT, E. Informe acerca de los Yacimientos de Goyllarisquizga y Jatunhuasi. Lima 1° de Junio 1951.
- BENNETT, E.- Informe sobre los yacimientos de Goyllarisquizga y Jatunhuasi. Lima, Julio 1952.
- KOENING, R.P.- Informe sobre los yacimientos de Goyllarisquizga y Jatunhuasi. Lima, Julio 1952.
- MAYER, I. Reglamentación y Estudios Relacionados con la construcción de una fábrica de briquetas. Lima, Diciembre 1952.
- SANCHEZ, V.- Informe sobre la Mina Lord-La Limeña. Lima, Setiembre 1954.
- GORDILLO, G.- Informe sobre Carbonera Ancos S.A. Lima, Setiembre de 1954.
- BAUN, K.- Propiedades de Combustión de briquetas de antracita peruana-Chimbote. Lima, Enero 1955.
- FRASER, T.- Preparación del Carbón de la Mina "La Limeñita" de Víctor Sánchez Aizcorbe, Lima, Junio de 1955.
- BENNETT, E. & FRASER, T.- Estudios y Recomendaciones por la misión de World Mining - Consultants en el Perú. Lima, Junio 1955.

- FRASER, T.- Pruebas de preparación de antracitas de Ancos - La Galgada. Lima, Agosto 1955.
- BENNETT, E.- Reconocimiento del Carbón de Murco. Arequipa. Lima, Agosto 1955,
- BENNETT, E. Exploraciones sobre los carbones en la Región Huallanca valle del Santa. Li  
ma, Octubre, 1955.
- BENNETT, E, Las Minas de antracita de los señores Gonzales Pardo y Armas en la Región Ca  
pachique, Lima, Octubre 1955.
- PERATA, P.- Estudio del mercado de antracita. Lima, Octubre 1955.
- MULCEY, P.A.- Utilización de la antracita Peru  
na, Lima, Enero 1956.
- BENNETT, E.- Estudio Preliminar Proyecto de - Planta Termoeléctrica en Chimbote. Lima, Mayo 1956.
- BENNETT, E.- Disposición del Gasógeno Willeman en Chimbote. Lima, Octubre de 1956.
- EISENBAU & ESSEN.- Informe sobre el desarrollo de la industria carbonera y siderurgia en Chimbote. Lima, 1956.
- CABRERA, A.- Política Carbonera Nacional. In: III Convención de Ingenieros de Minas del



Perú. Lima, 1956.

SILVA, J.- Informe sobre Minería en el Departamento de Ancash, Lima, Enero 1957.

MORAN, L.F.- Informe sobre sus actividades realizadas en las minas de carbón en los EE. UU. Lima, Agosto 1957.

BENNETT, E.- Reporte de Exploración Hulla de Cachicadan. Lima, Agosto 1957.

DIEZ CANSECO, E.-Estudio de las posibilidades de la Mina de Carbón "LORD" Lima, Mayo - 1958.

JOUVIAN, R.- Estudio Geológico de la Cuenca Hulla del Alto Chicama, Lima, Julio 1958.

GARCIA, A. & MUÑIZ.- Métodos de Explotación. "Long Hole Blasting y Caving". Lima, Agosto 1958.

HENRY, M.-Posibilidades de Utilización de los carbones del Santa. Lima, Agosto 1958.

FRASER, T.- Situación y perspectivas de la industria carbonera basados en el Estudio de SOFREMINES. Lima, Mayo 1958.

GARCIA, A. & MUÑIZ, P.- Informe acerca de la Compañía Carbonera Ancos S.A. Lima, Agosto, 1958.

GARCIA, A. & ROBILLIARD, R.- Informe acerca de la mina de carbón "Iris". Lima, Noviembre, 1958.

TISON, M.L.- Utilización de las Antracitas del Santa. Lima, Julio 1960.

TISON, M.L.- Informe de la visita a Jatunhuasi y Goyllarisquizga. Lima, Octubre 1960.

PAGE, J.S.-Geología del Carbón. Ing: VI Convención de Ingenieros de Minas. Lima, Setiembre 1960.

TISON, M.L.-Estudio de Carbonera del Santa. Lima, Noviembre, 1960.

CHARBONNAGES DE FRANCE (Laboratorio del Centro de Estudios e Investigación). Informe del análisis de los carbones peruanos. Lima, Marzo 1961.

SILVA, J.-Cubicación Carbonera Pallasca S.A. Lima, Octubre, 1961.

BRASSERT, H.A.-Carbón en el Perú. Lima, Enero 1964.

SILVA, J.C.-Estudio económico situación actual carbonera Pallasca S.A. Lima, Mayo 1964.

### 9.3 Boletines

#### 9.3.1 Boletines del Cuerpo de Ingenieros de Minas del Perú.

BALTA, J. Primera Memoria Presentada por el Director del Cuerpo de Ingenieros de Minas al Ministro de Fomento. Lima, Imprenta de la Escuela de Ingenieros, 1904.

METODO de Explotación, practicadas en galerías subterráneas antracitas de Punre. Lima, Boletín del Cuerpo de Ingenieros de Minas del Perú N° 31, Lit. Tip. Carlos Fabri, 1905.

YACIMIENTOS Carboníferos de Cajamarca. Lima, Boletín del Cuerpo de Ingenieros de Minas del Perú N° 31, Lit. Tip. Carlos Fabri. 1905.

RECURSOS Minerales de las provincias de Jauja y Huancayo. Lima, Boletín del Cuerpo de Ingenieros de Minas del Perú N° 35, Imprenta la Industria, 1906'

FLUCKER, L. Yacimientos de Fierro de Aija y Calleycancha. In: Boletín del Cuerpo de Ingenieros de Minas del Perú N° 36. Lima, Imprenta La Industria, 1906.

- MALAGA, F. Provincia de Contumaza y sus Asientos Minerales. In: Boletín del Cuerpo de Ingenieros de Minas del Perú N° 38. Lima Imprenta de "El Lucero" 1906.
- TRABAJOS de explotación. Lima, Boletín del Cuerpo de Ingenieros de Minas del Perú N° 38, Imp. de "El Lucero" 1906'
- DIAZ, L. & JACHAMOWITZ, S. Informe anual sobre la labor Comisión del Cerro de Pasco año 1907 y la Fundición de Tinyahuarco de la Cerro de Pasco Mining Company. In: Boletín del Cuerpo de Ingenieros de Minas del Perú N° 61. Lima, Imprenta Nacional de Pedro Berrio, 1908.
- JIMENEZ, C.P. Estadística Minera del Perú. 1909-1910. In: Boletín del Cuerpo de Ingenieros de Minas del Perú N° 77. Lima, Imprenta Americana, 1912.
- JIMENEZ, C.P. Estadística Minera del Perú 1911 In: Boletín del Cuerpo de Ingeniero de Minas del Perú N° 78, Lima, Imprenta Americana, 1913.
- JIMENEZ, C.P. Estadística Minera del Perú en 1912. In: Boletín del Cuerpo de Ingenieros de Minas del Perú N° 80. Lima, Imprenta Americana, 1914.

JIMENEZ, C.P. Estadística Minera del Perú en 1918. In: Boletín del Cuerpo de Ingenieros de Minas del Perú N° 96. Lima, Imprenta América, 1920.

DUEÑAS, E.I. Reconocimiento Geológico-Minero de las cuencas carboníferas. In: Boletín del Cuerpo de Ingenieros de Minas del Perú N° 97. Lima, Imprenta Americana, 1919.

JIMENEZ, C.P. Estadística Minera del Perú en 1919. In: Boletín del Cuerpo de Ingenieros de Minas del Perú N° 100. Lima, Imprenta Americana, 1921.

LLOSA, M.B. La Industria del Carbón en el Perú In: Boletín del Cuerpo de Ingenieros de Minas del Perú N° 109. Lima, Imprenta Torres Aguirre, 1932.

HOHAGEN, J. La Industria Minera en el Perú. 1937. In : Boletín del Cuerpo de Ingenieros de Minas del Perú N° 122. Lima, Imprenta Americana, 1938.

GARCIA, H. & LASTRES. Estudio sobre la explotación de carbones del Perú. In: Boletín del Cuerpo de Ingenieros de Minas del Perú. N° 127, Lima, Imprenta Torres Aguirre, 1941.

9.3.2 Boletines de la Sociedad Nacional  
de Minería.

BRAVO, J.J. Mina de carbón "La Lucha". In:Bo-  
letín de la Sociedad Nacional de Minería.  
Nº 81. Lima. Año VII, 1904.

HUASER, E. El Grisú en las Minas. In: Boletín  
de la Sociedad Nacional de Minería Nº 108.  
Lima, Año IX, 1906.

NO METALICOS. Parte II. Lima, Boletín de la So-  
ciedad Nacional de Minería Nº 135,1933.

9.3.3 Boletines del Ministerio de Energía y  
Minas.

WENZEL, J.C. Estadística de Accidentes Mineros  
1970. Lima, División de Seguridad e Higie-  
ne, 1971.

RODRIGUEZ, J.E. Estadística de Accidentes Mine-  
ros 1971. Lima, Dirección General de Mine-  
ría.División de seguridad e Higiene, 1973.

RODRIGUÉZ, J.E. Estadística de Accidentes Mine-  
ros 1973. Lima, Dirección General de Mine-  
ría. División de Seguridad e Higiene, 1974.

#### 9.4 REVISTAS ESPECIALIZADAS

BORKOWSKI, D.E. Situación Actual y Posibilidad de Promoción del carbón en el Perú. In: De la Metálica, Revista del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico N° 9, Octubre 1985.

CASTILLO, N.P. El Carbón como alternativa energética en el Perú. In: Minería, Organo del Instituto de Ingenieros de Minas del Perú. N° 189. Agosto 1985.

GRANDE, F. Explosiones. In: Medicina y Seguridad del Trabajo. Barcelona. UNINSA, 1985.

INSTITUTO Científico y Tecnológico Minero.

INCETEMI. Economía del Carbón y Coque. Unidad de Estudios Económicos Programa. 1973. Lima, Noviembre 1977.

YAIACO, A.R. Explosiones en Minas de Carbón. In: Revista del ISO N°3. Lima, Setiembre 1965.

#### 9.5 LEGISLACION MINERA

DIRECCION de Minas y Petróleo. Código de Minería del Perú. Lima, Imprenta Torres Aguirre N° Edición Oficial, 1924.

FAJARDO, J.V. Código de Minería, creada por Ley N° 11357. Lima, Impreso en los Talleres Gráficos "La Confianza" S.A., Editorial Mercurio S.A. 1950.

BONILLA, F.S. Ley General de Minería. D.L.N° 18880. Lima, Editorial Mercurio, 1973.

MINISTERIO de Energía y Minas. Reglamento de Bienestar y Seguridad Minera D.L. N° 18880 Lima, Agosto 1973.

BONILLA, F.S. Ley General de Minería, Decreto Legislativo N° 109, Lima, Editorial Mercurio S.A. 15 de Diciembre 1980.

#### 9.6 LIBROS EN GENERAL

BUREAU of Mines. Methane Emission coal mines: efectos of oil an gas wells. EE.UU.,1972.

BUREAU of Mines. Coal mine fire and explosion prevention an procedure. EE.UU.,1978.

BIRD, F. & FERNANDEZ F. Administración del Control de Pérdidas. Impreso en USA. 1977.

BATTERSBY, A. Planificación y Programación de Proyectos complejos. Barcelona, 2da. Edición, Editorial Ariel, 1978.

BROCKHAUS. Diccionario Popular de las Ciencias y de la Técnica. Barcelona, Editorial CC. 1983.

BLANES, O. Manual de Instalaciones contra Incendio. Barcelona, Ediciones CEAC S.A,1980.

BENNETT, C.O. Transferencia de Cantidad de Movimiento, calor y materia. Barcelona. Editorial Reverté S.A. 1986.



- COSH, E.E. Incendios, gases y ventilación en las minas metálicas y no metálicas. In: Bureau of mines EE.UU. Circular para mineros N° 55. Editada en Español por Agencia para el Desarrollo Internacional. AID.1959.
- CARDENAS, E. Diccionario Geográfico. Panamá, Editorial América S.A. 1979.
- CHAMBERS. Diccionario Tecnológico Español-Inglés-Francés-Aleman, Tomo I. Barcelona, Ediciones Omega S.A. 1978.
- CANEPA, C. Introducción al estudio del Carbón. In: El Ingeniero Geólogo N° 13, Facultad de Ciencias UNMSM, Lima, Set-Nov. 1963.
- CONSEJO Internacional de Seguridad. Manual de Prevención de Accidentes para Operaciones Industriales, 7ma. Edición. Madrid, Editorial MAPFRE S.A. 1974.
- ENCICLOPEDIA Universal Ilustrada Europea. Americana. Madrid, Editorial ESPASA-CALPESA, Tomos; 1-18, años 1934-1980.
- FRITZSCHE, C.H. Tratado de Laboreo de Minas con especial consideración de las minas de carbón. Tomos: I, II, III. Barcelona, Editorial Labor S.A., 1965.

- FUEYO, L. Diccionario de Terminología de Minas, Canteras y Metalurgia. Lima, Imprenta Pentacrom, 1974.
- FRANCOIS, A.R. Manual de Organización. Barcelona, Editorial Hispano Europea, 1978.
- GUERASIMOV, Y.A. Curso de Química Física. 2da. Edición. Moscú. Editorial MIR, 1977.
- HEISE, F. Tratado de Laboreo de Minas con especial consideración de las minas de Carbón. Barcelona, Editorial Labor S.A. 1943.
- HOLMAN, J.P. Transferencia de Calor. 4ta. Impresión. México, Compañía Editorial Continental S.A., Junio 1980.
- INFORME sobre las condiciones de Higiene y Seguridad en las minas de los yacimientos carboníferos fiscales de Río Turbio Argentina. Lima, Centro Interamericano de Administración del Trabajo. CIAT: Proyecto Regional (OIT/PNUD) RLA, 1975.
- LUCENTUM, Tecnología. Glosarios, vocabularios. In: Academia de las Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid. Madrid, 1983.
- MANUAL de Protección contra Incendios, National Fire Protection Association. Madrid. La Reedición, Editorial MAPFRE, Set. 1980.

- MARON, S. & PRUTTON, C. Fundamentos de Físico Química. 9a. Edición. México. Editorial Limusa. 1977.
- NOVITZKY, A. Ventilación de minas, incendios subterráneos y salvamento. Buenos Aires, Editorial Talleres Gráficos Yunque S.R. L. 1962.
- NECATI, M.O. Transferencia de Calor. Colombia, Editorial Mc Graw-Hill. Latinoamericana S,A. 1979.
- RAMIREZ, C.C. Seguridad Industrial. México, Editorial LIMUSA, 1986.
- PREVENCIÓN de Accidentes causados por explosiones durante las labores subterráneas en las minas de carbón. In: Repertorio de recomendaciones prácticas de la OIT. Ginebra-Suiza impreso por Atar, 1974.
- ROMAN, J.K. Manual sobre incendios y explosiones en actividades mineras. In: Proyecto PNUD/BOL,77, La Paz, Mayo 1979.
- ROBERT, B, Methane acumulities in coal mine roof cavities. In: Bureau of mine. EE.UU., 1978.
- STOCES, B. Elección y Crítica de los métodos de explotación en minería. Barcelona, Editorial Omega S.A., 1963,

SEGURIDAD e Higiene en las minas de carbón.

In: Repertorio de Recomendaciones de la OIT. Ginebra. Suiza, impreso por Atar - 1986.

STEPHENSON, R. Introducción a los procesos químicos industriales. México, Editorial CECSA, 1976.

TARQUIN, A.J. & BLANK, L.T. Ingeniería Económica, Bofotá, CENTEC 1985.

VIDAL, V. Explotación de Minas, Tomos I y II Barcelona, Ediciones Omega S.A., 1966.

VIAN. Curso de Introducción a la Química Industrial, Madrid, Editorial Alhambra, 1976.

WALTONSON, R.W. Active list of permissible explosives an blasting devices before December 31. 1972. In: Bureau of mines, EE.UU. 1972.

#### 9.7 OTROS

ACOSTA, C.E. Organización de Seguridad e Higiene de Minas. In: Curso sobre Higiene y Seguridad Minera. Edit. Departamento de Ingeniería de Minas. Universidad Nacional de San Juan. Argentina, 5-18. Mayo 1980.

- ANGELES C.C. La Tesis Universitaria. Investigación y Elementos, 7ma. Edición. Lima, Agosto 1985.
- BAVARESCO, P.A. Técnicas de la Investigación. Edit. South-Western Publishing Co. 4ta. Ed. E.U.A. 1979.
- COMPAÑIA de Seguros "Rimac" Póliza Unica de Seguro contra Incendio. Lima, 1986.
- EL PERUANO, Aprueban Reglamento del Decreto Ley N° 18846 de Accidentes de Trabajo y Enfermedades Profesionales del Personal Obrero. 23 de Febrero 1972. Lima-Perú.
- EL PERUANO, 2 Mil millones de toneladas de Carbón tiene nuestro país. Pág. 3.23 Febrero 1987. Lima-Perú.
- FARFAN, C, & RAMOS, R. Incendio en la mina de Cerro de Pasco. In: XIV Convención de Ingenieros de Minas. Lima, Noviembre - 1978.
- FLORES, C.E, Diagnóstico de Empresas Industriales, Editado por la Sociedad de Ingenieros del Perú. Lima, 1980.
- FUSAMURA, N, Presente y futuro de la tecnología de Seguridad minera en la minería Japonesa. In: Congreso Mundial de Minería. Lima Noviembre, 1974.

FUEGO, Sus causas, características, manejo y uso de extinguidores contra incendio. In: Boletín de Seguridad Industrial N° 26. 2da. Edición, México, editado por Petróleos mexicanos, 1976.

HAVARD, J. Evaluación Científica de los factores que determinan la calificación económica de los proyectos mineros. In: VI Congreso Internacional de Minería, Madrid, 1-6 Junio 1970.

KOCHANOWSKY, B.J. & TRAFTON, F.O. Análisis del Costo dinámico y su aplicación en industria minera. In: VI Congreso Internacional de Minería. Madrid 1970.

LUYO, V. & GUSTAVO, O. Exploración Geológica en los Yacimientos Carboníferos de Oyón bloque central Panpahuay: Antecedentes, programa de exploración, resultados parciales y desarrollo minero futuro. In: Convención de Ingenieros de Minas 14a. Trabajos Técnicos, Tomo II, Lima, 1978.

MARTINEZ, C. Memoria al Congreso 1983-1984. Bogotá. Ministerio de Minas y Energía. Julio 1984.

PILCO, Z.Z. Metodología empleada por el Banco Minero para evaluar proyectos de inversión.

In: Convención de Ingenieros de Minas.

16a. Lima, 1982,

PROGREBNOV, N.I. & TARENTIEV, E.V. Trabajos de Reconocimiento Geológico e Investigación para el pronóstico de las condiciones minero-geológicas en los proyectos de minas de carbón URSS. In: VI Congreso Internacional de Minería. Madrid, 1-6 Junio 1970.

SINIESTROS en la minería, Santiago de Chile, Empresa Nacional del carbón. Abril 1975.

SISTEMAS fijos para protección contra incendio. In: Boletín de Seguridad Industrial N° 27. 2a. Edición, México, editado por Petróleos mexicanos, 1977.

UNIVERSIDAD Nacional de Ingeniería. Oficina de Promoción y Desarrollo. Seminario sobre Tesis Universitaria. Lima, Nov. 1986.

ZUÑIGA, C. & MIGUEL, A. Simulación Económica, Financiera de un Proyecto Minero. In: Convención de Ingenieros de Minas 14a. Lima, 1978.