

PREVENCIÓN DE GOLPES DE POLVO EN MINAS DE CARBÓN MEDIANTE LA NEUTRALIZACIÓN CON MATERIAL ESTÉRIL



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE MEDALLÍN
DPTO. DE BIBLIOTECAS
BIBLIOTECA MINAS

WILLIAM CASTRO MARÍN

Profesor Asociado

Facultad de Minas - Universidad Nacional de Colombia.

CLAUDIA P. MARTÍNEZ G.

*Ingeniera de Minas y Metalurgia
Investigadora - Centro del Carbón*

RESUMEN

Con el propósito de hacer una confrontación práctica de los fenómenos estudiados, se seleccionaron cuatro minas de la región Amagá - Angelópolis, en dos de ellas, las cuales se pueden considerar como medianamente mecanizadas, se determinó en forma experimental la tasa de depositación de polvo y de manera teórica el espesor mínimo de capa de polvo de carbón, el cual al ser levantado y puesto en suspensión alcanza una concentración tal que mediante una fuente de ignición es capaz de generar un golpe de polvo. Sin embargo, este factor no debe considerarse como único parámetro que induce a la iniciación y propagación de la explosión del polvo de carbón.

Igualmente se halla un espesor de capa ponderado para cada una de las cuatro minas en estudio con el fin de obtener la cantidad de polvo depositado y cuantificar así el estéril necesario para la neutralización de este depósito.

Finalmente, con los requerimientos de material estéril en las cuatro minas, se diseña un esquistificador, con su respectivo costo.

PALABRAS CLAVE

Tasa de depositación, espesor de capa, espesor de capa ponderado, neutralización, esquistificador, tasa de esquistificación.

ABSTRACT

Two semi-mechanized coal mines existing in the Amagá- Angelópolis area were selected to determine

experimentally the rate of dust settlement and to figure out theoretically the minimum thickness of the dust layer that, if done in the air, could reach a concentration likely to get ignited by some source and to generate a dust explosion thereafter.

At four mines, including the two semi-mechanized ones, the weighted thickness of layers of settled dust were obtained. These results were used to calculate the amount of inert material able to render harmless the coal dust settled.

A device to obtain the inert material was designed and its costs calculated.

It should be highlighted that even with the low level of mechanization of the mines studied, deposits of dust of the kind able to generate an explosion, can be formed.

The use of inert dust as mean to fight coal dust explosions is strongly recommended on account of its simplicity and low cost.

KEY WORDS

Rate of settlement, layer thickness, weighted layer thickness, neutralization, device producer of inert material, rate of production of inert material.

1. INTRODUCCIÓN

El Centro de Investigaciones del Carbón de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín con

el apoyo financiero de Colciencias y Ecocarbón y con la especial colaboración de la Regional No. 5 Amagá, realizó el proyecto "Condiciones ambientales de la minería subterránea del carbón en la cuenca Amagá-Angelópolis".

Entre los fenómenos estudiados se tiene el relacionado con el riesgo potencial de las explosiones de polvo combustible y con los mecanismos que se utilizan industrialmente para prevenir su aparición y para combatirlos cuando se presentan en los ambientes subterráneos. Con este propósito se seleccionaron cuatro minas que por su mecanización y nivel de producción generan una cantidad apreciable de material particulado.

El propósito fundamental de este artículo es ilustrar la metodología de trabajo que se utiliza en la prevención de los fenómenos de explosión de polvo combustible mediante el proceso de neutralización, conocido como esquistificación.

Algunos de los parámetros tratados en este estudio son:

Determinación experimental de la tasa de deposición (td) para dos de las cuatro minas elegidas.

Cálculo del espesor mínimo de capa de polvo para que se produzca una explosión a unas condiciones dadas.

Determinación de un espesor de capa ponderado tanto para el piso como para el techo y paredes en algunos sitios de las minas en estudio y neutralización de los depósitos de polvo con el fin de prevenir una explosión.

2. TASAS DE DEPOSITACIÓN

En el estudio desarrollado por La Universidad Nacional se determinó de una manera experimental la tasa de deposición (td) en algunos sitios críticos de dos de las minas seleccionadas, el procedimiento utilizado fue el siguiente :

Se ubicaron bandejas de acrílico de 237.5 cm², por un tiempo de 13 horas, en los lugares donde se generaba una mayor cantidad de polvo, por ejemplo los puntos de descargue del mineral. En una de las minas se

determinó además, la tasa de deposición a lo largo de una galería de transporte con el fin de determinar el grado de empolvamiento teórico de esta vía en función de la distancia al punto de generación.

Para el cálculo de la tasa de deposición se utilizó la siguiente expresión:

$$Td = \frac{Pd}{S * t}$$

Pd es el peso del polvo depositado en gramos, S es el área de la bandeja en m², y t es el tiempo de deposición en horas.

El cálculo de la magnitud total de polvo depositado en la mina se realiza considerando que este polvo se deposita tanto en el piso como en las paredes y techos de las galerías.

Así, por ejemplo tomando la muestra 5 de la mina 1 se tiene:

Área aproximada: 50 m² y un factor de corrección: 70 %.

En la Tabla 1 se presentan las tasas de deposición obtenidas experimentalmente en los distintos sitios de muestreo.

Este factor se aplica debido a que la deposición sólo fue medida en el piso del área de muestreo, y el cálculo que se pretende hacer corresponde al polvo depositado tanto en piso como en techo y paredes.

Tasa de deposición para la muestra 5:

$$Td = 4.2503 \text{ g / m}^2 * \text{h}$$

Tiempo de deposición diaria: 16 horas

Entonces la cantidad de polvo que se deposita en este lugar será:

$$4.2503 \text{ g / m}^2 \text{ h} * 50 \text{ m}^2 * 16 \text{ h} * 0.7 = 2380.17 \text{ g/día}$$

En el punto donde se tomó la muestra 3 se presentó la menor tasa de deposición de la mina 1; para este punto se tiene:

Tabla 1. Tasas de deposición

Bandeja # Descarga	1D	2D	3D	4D	5D	6D	Td (g/m ² h)
M1 m1	0.2599	0.1484		0.0006	0.5585	0.2799	0.2495
M1 m2	0.0469	2.3509	0.4256	0.3385	0.2713	0.1039	0.5270
M1 m3		0.1753	0.1518	0.0685			0.1319
M1 m4	4.4854	0.8256	0.0533	0.2578	0.2945	0.0512	0.9946
M1 m5	15.4480	0.2490	1.1768	0.1273			4.2503
M1 m6		1.7230	0.9764	0.0357			0.9117
M1 m7	0.1821	0.4259	0.0820				0.2306
M2 m1	1.1814	1.1765	0.6380	1.2588			1.0637
M2 m2	----	1.4164	0.6796	0.6635			0.9198
M2 m3	0.0266	0.0587	0.0307	0.1413			0.0643
M2 m4	0.1251	1.9973	0.8852	0.0459			0.7634
M: mina y m: muestra							

Área aproximada :

25 m². y un Factor de corrección : 70%.

Tasa de deposición: Td = 0.01319 g / m² h

Tiempo de deposición diaria : 16 horas.

Así, la cantidad de polvo depositado será:

$$0.01319 \text{ g/m}^2 \text{ h} * 25 \text{ m}^2 * 16 \text{ h} * 0.7 = 3.69 \text{ g/día}$$

Estos resultados indican que en un día de trabajo se pueden generar aproximadamente 4 gramos de polvo en el punto de menor deposición y 2.4 kilogramos de polvo en el punto de mayor deposición.

Realizando el mismo procedimiento para la mina 2, y tomando los valores mayor y menor de las tasas de deposición, se tiene:

Mayor tasa de deposición:

$$1.0637 \text{ g/m}^2 \text{ h} * 50 \text{ m}^2 * 16 \text{ h} * 0.7 = 595.67 \text{ g/día}$$

Menor tasa de deposición:

$$0.0643 \text{ g/m}^2 \text{ h} * 60 \text{ m}^2 * 16 \text{ h} * 0.7 = 43.21 \text{ g/día.}$$

Para la tasa de deposición tomada a lo largo de la galería de transporte se tienen los valores reportados en la Tabla 2.

3. ESPESOR DE CAPA

Teóricamente se puede calcular el espesor mínimo de la capa de polvo de carbón que al ser levantada y puesta en suspensión alcanza, en la nube, una concentración tal que mediante una fuente de ignición es capaz de generar un golpe de polvo.

Para el cálculo se asume lo siguiente:

- Espesor constante tanto en el piso como en el techo y paredes
- Tramo de galería de 100 m de longitud
- Sección de la galería 6 m²
- Volumen de la galería 600 m³
- Concentración de la nube de polvo 100 g/m³ (concentración mínima para la iniciación de un golpe de polvo)
- Densidad del carbón 1000 kg/m³

La cantidad de polvo de carbón contenido en la galería a una concentración de 100 g/m³ está dada por:

$$Q = P \times \delta \times L \times \rho$$

Q es la cantidad de polvo de carbón contenido en la galería a una concentración de 100 g/m³, P es el perímetro de la sección, δ es el espesor de capa, L es la longitud de la galería, ρ es la densidad del polvo de carbón.

Tabla 2. Tasa de deposición y empolvamiento periódico a lo largo de una galería de transporte.

Referencia	Peso Polvo	Td	Distancia (m)	gramos/día
m1	0.2990	0.0968	1	5.9763
m2	0.7751	0.2510	3	15.4925
m3	2.1350	0.6915	7	42.6737
m4	0.2314	0.0749	15	4.6252
m5	0.5039	0.1632	25	10.0718
m6	18.7683	6.0788	2	375.1350
m7	5.8767	1.9034	5	117.4617
m8	2.5969	0.8411	10	51.9060
m9	2.0417	0.6613	15	40.8089
m10	0.6998	0.2267	25	13.9874
m11	0.0996	0.0323	2	1.9908
m12	0.0632	0.0205	5	1.2632
m13	2.2840	0.7398	1	45.6519
m14	1.8410	0.5963	3	33.6585
m15	0.4221	0.1367	7	7.7172
m16	0.7323	0.2372	15	13.3885
m17	0.2464	0.798	25	4.5049
m18	0.1803	0.0584	2	3.2964
m19	0.2771	0.0897	5	5.0662
m20	0.0901	0.0292	1	1.6473
m21	0.9122	0.2954	3	16.6775
m22	1.2829	0.4155	7	23.4549
m23	0.1334	0.0432	15	2.4389
m24	0.0376	0.0122	25	0.6874
m25	0.1317	0.0427	50	2.4078
m26	0.0040	0.0013	75	0.0731

Reemplazando se tiene:

$$60 \text{ kg} = 10 \text{ m} \times \delta \times 100 \text{ m} \times 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\delta = 0.06 \text{ mm}$$

Es decir, el espesor mínimo de capa de polvo para que se produzca una explosión es de 0.06 mm, lo cual representa el espesor de una hoja de papel.

Este espesor mínimo puede variar ya que en la práctica el espesor de capa es mayor en el piso que en el techo y en las paredes; también varía cuando se cambia la concentración de polvo a ser puesta en suspensión.

En la tabla 3 se muestra la relación entre la concentración de polvo y el espesor mínimo de capa para una misma longitud de galería.

Tabla 3. Relación entre concentración y espesor mínimo de capa.

Concentración (g/m ³)	Espesor Mínimo de Capa δ (mm)
50	0.030
100	0.060
150	0.090
200	0.120
250	0.150
300	0.180
350	0.210
5000	3

Los resultados obtenidos en el estudio adelantado por el Centro del Carbón se presentan en la tabla 4.

De acuerdo con estos resultados, las minas estudiadas pueden considerarse como pulverulentas, ya que en los puntos donde se tomaron las muestras de polvo, los espesores ponderados siempre fueron mayores a 0.06 mm, el cual se puede considerar como espesor mínimo de capa. Sin embargo, este parámetro δ no debe considerarse como exclusivamente determinante en una explosión de polvo, ya que sólo hace parte del conjunto de parámetros bajo los cuales se puede desarrollar el fenómeno si alcanzan los límites establecidos teórica o experimentalmente.

3.1 ESPESOR DE CAPA PONDERADO

Las mediciones registradas en la tabla 4 son puntuales, por tanto, es necesario contar con un factor de ponderación cuya aplicación se refleja en la práctica, en un espesor homogéneo en toda el área lateral de la galería y sobre toda su longitud.

El espesor de capa total ponderado, tanto para el piso, como para techo y paredes se expresa de la siguiente manera:

$$\bar{\delta}T = \bar{\delta}p * \frac{Lp}{B} + \bar{\delta}t * \frac{Lt}{B} + \bar{\delta}pa * \frac{Lpa}{B}$$

Tabla 4 Mediciones realizadas en el punto de muestreo

Referencia	Velocidad del aire (m/s)	Sección (m ²)	Espesor de capa (cm)			% Grisú
			Piso	Techo	Paredes	
M1 m1 PD	1.410	9.30	1.0	0.3	0.5	0.1
M1 m2 PD	2.200	4.34	0.6	0.5	0.3	0.0
M1 m3 PD	1.600	14.00	0.8	0.3	0.5	0.0
M1 m4 PD	1.830	5.20	1.0	0.8	0.6	0.0
M1 m5 PD	1.610	6.70	1.2	0.8	1.0	0.0
M1 m6 PD	1.640	4.60	0.8	0.3	0.6	0.0
M1 m7 PD	1.370	12.00	1.5	0.8	1.3	0.0
M1 m8 PD	1.920	5.32	2.6	0.4	0.8	0.0
M1 m9 PD	1.680	7.70	3.4	0.8	1.3	0.1
M1 m10 PD	4.520	7.00	4.5	1.8	1.6	0.1
M1 m11 PD	0.700	8.60	8.5	0.9	1.2	0.1
M1 m12 PD	0.300	6.10	6.3	0.4	0.8	0.1
M1 m13 PD	0.810	5.51	1.6	0.3	0.2	0.0
M1 m14 PD	0.330	8.75	1.2	0.2	0.2	0.0
M1 m15 PD	0.730	4.50	0.8	0.2	0.2	0.0
M1 m16 PD	0.600	6.60	0.9	0.3	0.3	0.1
M1 m17 PD	0.400	6.00	1.2	1.0	0.8	0.0
M1 m18 PD	0.510	7.02	2.6	1.3	1.5	0.0
M1 m19 PD	0.590	6.50	3.0	1.5	2.1	0.0
M1 m20 PD	0.670	8.75	5.0	2.1	2.8	0.1
M1 m21 PD	0.970	7.50	2.3	1.0	1.2	0.1
M1 m22 PD	1.250	13.50	15.0	4.2	5.1	0.0
M1 m23 PD	0.400	7.44	8.0	3.5	4.0	0.0
M1 m24 PD	0.950	8.40	1.5	2.0	1.0	0.1
M1 m25 PD	1.500	5.72	2.3	1.5	1.8	0.0
M1 m26 PD	1.400	8.75	6.5	3.8	4.3	0.0
M1 m27 PD	2.410	6.30	16.0	6.0	5.0	0.0
M1 m28 PD	2.240	5.72	5.9	3.0	3.5	0.0
M2 m1 PD	1.890	3.21	0.8	0.3	0.2	0.0
M2 m2 PD	2.670	1.26	5.0	1.8	2.5	0.0
M2 m3 PD	0.000	25.00	3.0	1.5	2.0	0.1
M2 m4 PD	0.000	28.00	4.0	1.0	2.3	1.0
M2 m5 PD	1.000	4.01	2.0	0.6	1.7	0.1
M2 m6 PD	0.630	2.71	1.2	0.7	0.7	0.0
M2 m7 PD	4.560	1.82	1.5	0.4	1.2	0.0
M2 m8 PD	0.870	3.81	1.3	0.5	1.0	0.0
M2 m9 PD	1.050	30.00	0.8	0.4	1.3	0.0
M2 m10 PD	1.070	28.00	1.0	0.3	1.2	0.0

Tabla 4 Mediciones realizadas en el punto de muestreo (continuación)

Referencia	Velocidad del aire (m/s)	Sección (m ²)	Espesor de capa (cm)			% Grisú
			Piso	Techo	Paredes	
M2 m11 PD	0.100	2.30	1.0	0.4	0.6	0.2
M2 m12 CF	1.200	2.56	0.4	0.2	0.2	0.1
M2 m13 CF	0.520	4.01	0.5	0.2	0.3	0.2
M2 m14 CF	1.420	2.73	0.7	0.2	0.6	0.2
M2 m15 CF	0.480	2.59	0.6	0.1	0.3	0.1
M2 m16 CF	0.100	2.30	0.5	0.2	0.3	0.1
M2 m17 CF	1.680	1.34	0.4	0.3	0.2	0.1
M3 m1 PD	0.400	6.27	0.7	0.2	0.3	0.3
M3 m2 PD	1.380	3.04	0.6	0.3	0.4	0.3
M3 m3PD	1.050	3.97	1.3	0.5	1.0	0.0
M3 m4 PD	0.620	3.28	1.5	0.6	1.0	0.0
M3 m5 CF	0.400	6.27	0.7	0.3	0.2	0.1
M3 m6 CF	1.380	3.04	0.6	0.3	0.5	0.1
M4 m1 PD	1.500	1.98	0.9	0.3	0.6	0.0
M4 m2 PD	0.600	2.70	1.0	0.6	0.7	0.0
M4 m3 PD	0.300	3.00	0.8	0.4	0.6	0.0
M4 m4 PD	0.300	3.00	0.7	0.4	0.5	0.2
M4 m5 PD	0.900	3.63	1.5	0.3	0.8	0.0
M4 m6 CF	0.300	3.00	1.6	0.6	1.2	0.2
M4 m7 CF	0.300	3.00	1.3	0.4	0.9	0.2

M: mina, m: muestra, PD: polvo depositado, CF: carbón fresco (manto)

B es el perímetro de la sección transversal.

$\bar{\delta}_p = \frac{\delta_p}{L_p}$ es el espesor ponderado de capa en el piso.

$\bar{\delta}_t = \frac{\delta_t}{100}$ es el espesor ponderado de capa en el techo.

$\bar{\delta}_{pa} = \frac{\delta_{pa}}{100}$ es el espesor ponderado de capa en las paredes.

δ es el espesor de capa de polvo medido experimentalmente

L_p es el ancho de la sección en el piso de la galería o del sector.

δ_t es el espesor de capa de polvo experimental en el techo

δ_{pa} es el espesor de capa de polvo experimental en las paredes

100 es el factor de corrección, corresponde a la separación entre las puertas de sostenimiento (100 cm).

En la tabla 5 se presentan los espesores de capa ponderados para algunos sitios de las minas en estudio.

Tabla 5 Espesores de capa ponderados seleccionados para las minas del estudio.

Referencia	$L(m)$	$ST(m^2)$	$Lt(m)$	$Lp(m)$	$Lpa(m)$	B	AL	$\delta p(cm)$	δt	$\delta pa(cm)$	$\bar{\delta p}$	$\bar{\delta t}$	$\bar{\delta pa}$
M1 m7 PD	5	12.0	4.00	4.60	5.20	13.80	69.00	1.50	0.80	1.30	0.003	0.008	0.013
M1 m9 PD	5	7.7	3.00	3.00	5.20	11.20	56.00	3.40	0.80	1.30	0.011	0.008	0.013
M1 m10 PD	240	8.6	3.00	3.20	4.40	10.60	2544.00	8.50	0.90	1.20	0.027	0.009	0.012
M1 m21 PD	5	7.0	3.05	3.20	4.40	10.65	53.25	2.60	1.30	1.50	0.008	0.013	0.015
M1 m22 PD	330	6.5	3.10	3.35	3.90	10.35	3415.50	3.00	1.50	2.10	0.009	0.015	0.021
M1 m23 PD	5	8.8	3.80	4.35	4.00	12.15	60.75	5.00	2.10	2.80	0.011	0.021	0.028
M1 m25 PD	5	13.5	6.00	6.20	4.40	16.60	83.00	15.00	4.20	5.10	0.024	0.042	0.051
M1 m26 PD	310	7.4	3.00	3.25	4.60	10.85	3363.50	8.00	3.50	4.00	0.025	0.035	0.040
M1 m29 PD	5	8.8	3.10	3.50	5.00	11.60	58.00	6.50	3.80	4.30	0.019	0.038	0.043
M1 m30 PD	260	6.3	3.00	3.15	4.00	10.15	2639.00	16.00	6.00	5.00	0.051	0.060	0.050
M1 m31 PD	5	6.7	2.80	2.80	4.80	10.40	52.00	5.90	3.00	3.50	0.021	0.030	0.035
M2 m2 PD	140	1.3	0.80	0.90	3.00	4.70	658.00	5.00	1.80	2.50	0.056	0.018	0.025
M2 m3 PD	12	25.0	5.00	5.00	10.00	20.00	240.00	3.00	1.50	2.00	0.006	0.015	0.020
M2 m4 PD	10	28.0	4.50	4.50	12.60	21.60	216.00	4.00	1.00	2.30	0.009	0.010	0.023
M2 m5 PD	230	4.0	2.00	2.00	4.00	8.00	1840.00	2.00	0.60	1.70	0.010	0.006	0.017
M2 m7 PD	60	1.8	1.80	1.80	2.00	5.60	336.00	1.50	0.40	1.20	0.008	0.004	0.012
M2 m10 PD	15	28.0	4.30	4.30	13.00	21.60	324.00	1.00	0.30	1.20	0.002	0.003	0.012
M2 m11 PD	150	2.3	1.35	1.45	3.20	6.00	900.00	1.00	0.40	0.60	0.007	0.004	0.006
M3 m2 PD	180	6.3	3.50	4.30	2.90	10.70	1926.00	0.70	0.20	0.30	0.002	0.002	0.003
M3 m4 PD	200	3.0	1.80	2.00	3.00	6.80	1360.00	0.60	0.30	0.40	0.003	0.003	0.004
M3 m5 PD	900	4.0	2.30	2.50	3.20	8.00	7200.00	1.30	0.50	1.00	0.005	0.005	0.010
M4 m1 PD	150	2.0	1.70	1.80	2.20	5.70	855.00	0.90	0.30	0.60	0.005	0.003	0.006
M4 m2 PD	80	2.7	1.70	1.80	3.00	6.50	520.00	1.00	0.60	0.70	0.006	0.006	0.007
M4 m3 PD	170	3.0	1.70	2.00	3.00	6.70	1139.00	0.80	0.40	0.60	0.004	0.004	0.006
M4 m5 PD	200	3.6	2.00	2.20	3.30	7.50	1500.00	1.50	0.30	0.80	0.007	0.003	0.008

M: mina, m: muestra, PD: polvo depositado

L: Longitud de la galería o tramo.

ST: Sección transversal.

Lt: Longitud de techo.

Lp: Longitud de piso.

Lpa: Longitud de pared.

B: Perímetro

AL: Área lateral.

δ_p : Capa de polvo medida experimentalmente en piso.

δ_t : Capa de polvo medida experimentalmente en techo.

δ_{pa} : Capa de polvo medida experimentalmente en pared.

$\bar{\delta}_p$: Espesor ponderado de capa en piso.

$\bar{\delta}_t$: Espesor ponderado de capa en techo.

$\bar{\delta}_{pa}$: Espesor ponderado de capa en pared

4. TÉCNICAS DE NEUTRALIZACIÓN

A partir del espesor de capa ponderado se puede obtener la cantidad de polvo depositado (Q_{pd}) mediante la siguiente expresión:

$$Q_{pd} = A_L * \bar{\delta} * \rho_c$$

Q_{pd} = Cantidad de polvo depositado (Kg); A_L = Área lateral del sector (m^2); ρ_c = Densidad del polvo de carbón ($\rho_c = 0.8 \text{ t/m}^3$); $\bar{\delta}$ = Espesor ponderado de la capa de polvo (cm).

$$A_L = B * L$$

B = Perímetro de la sección transversal.

L = Longitud del tramo de galería.

La concentración de polvo suspendido se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$C = \frac{Q_{pd}}{V}$$

Donde C = Concentración de polvo en nube (g/m^3).

Q_{pd} = Cantidad de polvo depositado (g).

V = Volumen de la galería o sector crítico (m^3).

4.1 NEUTRALIZACIÓN CON MATERIAL ESTÉRIL

La neutralización consiste en proyectar y mezclar al polvo de carbón una sustancia pulverulenta no combustible que se ponga en suspensión al mismo tiempo que el polvo combustible, y si está en cantidad suficiente dentro de la nube formada, impide la propagación de la llama. Dicho material debe cumplir con los siguientes requisitos:

- La cantidad de estéril debe ser suficiente, de modo que se asegure una buena protección de los trabajos.
- El material estéril debe dispersarse fácilmente, pero no debe ser tan fino que lo arrastre el aire de la ventilación.
- El estéril debe tener una calidad apropiada, este material debe absorber calor para enfriar la llama producida y desprender CO_2 para enrarecer la atmósfera y evitar la propagación de la explosión.

La operación de neutralización se lleva a cabo por medio de un esquistificador que aplica el polvo a través de una boquilla. Esta aplicación se hace en los puntos de mayor empolvamiento en la mina y es de carácter manual, se debe tener en cuenta para su control la tasa de esquistificación y un espesor promedio de capa de polvo estéril (tabla 6).

El porcentaje mínimo de neutralización debe ser del orden de 50 % para un tamaño de partícula de -200 mallas y una concentración de polvo de carbón que varía de 50 g/m^3 a 200 g/m^3 a intervalos de 50 g/m^3 . (Tabla 7). Así, a mayor concentración de polvo de carbón, mayor porcentaje de polvo estéril se debe aplicar.

Se debe tener en cuenta que estas granulometrias fueron reportadas con altos porcentajes en todas las muestras analizadas y la concentración de polvo de 100 g/m^3 es muy probable que se presente en muchos sectores de las minas estudiadas.

Una tasa de neutralización del 75% por peso es suficiente para prevenir una explosión de polvo de carbón para tamaños de partícula comprendidos entre las mallas 70 - 200, tasa que coincide con la calculada para los distintos sectores de las minas que fueron base de este estudio.

Tabla 6. Cantidad de polvo de carbón depositado y concentración en nube.

Referencia	L(m)	ST (m ²)	d (cm)	AL (m)	Qpd (kg)	V (m ³)	C(g/m)
M1 m7	5	12.0	0.008	69	4.584	60.0	76.40
M1 m9	5	7.7	0.011	56	5.024	38.5	130.49
M1 m10	240	8.6	0.016	2544	316.416	2064.0	153.30
M1 m21	5	7.0	0.012	53.25	5.266	35.1	150.03
M1 m22	330	6.5	0.015	3415.5	418.176	2145.0	194.95
M1 m23	5	8.8	0.020	60.75	9.672	43.8	221.07
M1 m25	5	13.5	0.038	83	25.056	67.5	371.20
M1 m26	310	7.4	0.034	3363.5	915.120	2306.4	396.77
M1 m29	5	8.8	0.034	58	15.912	43.8	363.70
M1 m30	260	6.3	0.053	2639	1123.200	1638.0	685.71
M1 m31	5	6.7	0.030	52	12.440	33.6	370.24
M2 m2	140	1.3	0.030	658	156.128	176.4	885.08
M2 m3	12	25.0	0.015	240	29.280	300.0	97.60
M2 m4	10	28.0	0.017	216	29.984	280.0	107.09
M2 m5	230	4.0	0.013	1840	184.000	922.3	199.50
M2 m7	60	1.8	0.008	336	22.176	109.2	203.08
M2 m10	15	28.0	0.008	324	21.468	420.0	51.11
M2 m11	150	2.3	0.006	900	41.520	345.0	120.35
M3 m2	180	6.3	0.002	1926	32.688	1128.6	28.96
M3 m4	200	3.0	0.003	1360	37.440	608.0	61.58
M3 m5	900	4.0	0.007	7200	406.800	3573.0	113.85
M4 m1	150	2.0	0.005	855	32.760	297.0	110.30
M4 m2	80	2.7	0.006	520	26.368	216.0	122.07
M4 m3	170	3.0	0.005	1139	44.608	510.0	87.47
M4 m4	200	3.6	0.006	1500	75.840	726.0	104.46
M1, M2, M3, M4 Minas 1, 2, 3 y 4							

Tabla 7. Longitudes de propagación de la llama a diferentes concentraciones de polvo de carbón y varios porcentajes de polvo estéril adicionado.

<i>R. D. S.*</i> <i>L. E. F.*</i> Concentración	0%	50%	60%	66.7%	70%	75%	80%
50 g/m ³	2.6	2.5	2.1	1.5	1.0	—	—
100 g/m ³	3.9	3.9	3.7	3.0	2.5	1.6	—
150 g/m ³	5.3	5.3	5.0	4.2	3.7	2.6	1.2
200 g/m ³	5.6	5.5	4.5	—	2.8	1.7	—

* R.D.S.: Porcentaje de polvo estéril adicionado, menor a malla 200.

* L. E. F.: Longitud de propagación de la llama (cm).

Otro parámetro de comparación, puede apreciarse en la tabla 8 y es el efecto de la adición de material inerte en la prevención de un golpe de polvo para varios tamaños de partículas de carbón, manteniendo una concentración de polvo de carbón de 100 g / m³. Puede observarse que la cantidad de polvo estéril disminuye cuando aumenta el tamaño de partícula de polvo de carbón.

Tabla 8 Propagación de la llama a diferentes tamaños de partícula de polvo de carbón y a varios porcentajes de polvo estéril.

<i>R.D.S.</i> <i>L.E.F.</i> Tamaño de Partícula.	0%	50%	60%	66.7%	70%	75%
< malla 200	3.9	3.9	3.7	3.0	2.5	1.6
malla 140 - 200	3.4	3.4	3.1	2.3	1.7	—
malla 100 - 140	3.0	2.7	2.2	1.6	1.2	—
malla 70 - 100	2.5	2.2	1.7	1.2	—	—

4.1.1 Materiales empleados como estériles

Los materiales más utilizados como estériles a nivel mundial son arcilla, esquistos, arenas, caliza y yeso. Su aplicación depende directamente de las características de cada material; puesto que ciertos estériles a altas temperaturas se subdividen sufriendo una transformación endotérmica, como ocurre con la

disociación de la caliza y la deshidratación de esquistos y yesos, así como del aspecto económico.

La eficiencia de los estériles se compara según el porcentaje de neutralización requerido :

$$e = \frac{T}{100 - T}$$

Donde: *e*: Eficiencia del estéril.

T : Porcentaje de neutralización.

Tomando la arcilla como elemento de referencia, se han definido los coeficientes de equivalencia para algunos estériles :

Arcilla	=	1.0
Esquisto	=	1.1 - 1.2
Arena	=	1.2
Caliza	=	0.8
Yeso	=	0.45

La calidad del estéril a utilizar debe ser muy buena ya que todos los estériles poseen propiedades diferentes; así, la reglamentación francesa admite que 80 g de material calcáreo (caliza) equivalen a 100 g de esquisto. La caliza, presenta muy buena eficiencia y sólo se ve afectada cuando se presentan porcentajes de humedad mayores del 15 %.

El yeso presenta un inconveniente y es su higroscopía, endureciéndose y aglomerándose, impidiendo una buena dispersión y disminuyendo su efectividad. Por tanto su utilización se ve limitada para humedades relativas menores del 75 %

Arcillas, esquistos y arenas, son de baja eficiencia, por lo que se requieren grandes cantidades de material, lo cual ha condicionado enormemente su utilización.

4.1.2 Forma de acción del estéril

Depende principalmente del tipo de estéril empleado. El estéril capta parte de la radiación emitida por las partículas de carbón, absorbiendo el calor y disminuyendo la temperatura de la llama y el calentamiento de las partículas de carbón situadas antes del frente de llama.

Algunos estériles se descomponen cuando se eleva su temperatura, ocurriendo una transformación endotérmica, lo que origina una disociación del material calcáreo, deshidratación de esquistos y yeso, fusión y vaporización del cloruro de sodio. Estas transformaciones liberan gases inertes, agua y dióxido de carbono, los cuales bajan la concentración relativa de oxígeno en el aire.

4.1.3 Granulometría del estéril

Para determinarla es necesario considerar la forma en que actúa:

- Si el estéril está bien disperso en la nube de polvo, su eficiencia aumenta directamente con el decrecimiento del tamaño de partícula, al considerarse su efecto térmico.
- Si el estéril es muy fino (menor de 0.025 mm) su facilidad de dispersión es baja (por aglomeración), por lo que su influencia sobre el polvo de carbón es débil.
- La granulometría fina del estéril no tiene gran importancia al aumentar la granulometría del carbón.

Según lo anterior es posible establecer que la dispersión se ve afectada por la naturaleza fina del polvo carbón-estéril. De acuerdo con la granulometría hallada en cada una de las minas, cada fuente de polvo genera un porcentaje de cierta granulometría; es por ello que para cada fuente de generación se requerirá una granulometría diferente para el material estéril a agregar, lo cual es técnicamente imposible de implementar, teniéndose que optar por una granulometría que cubra las diferentes exigencias. Este tamaño de grano puede ser del orden de 0.149 mm (malla 100).

4.1.4 Dispersión de los depósitos de polvo de carbón-estéril

La dispersión de la mezcla de polvo de carbón - estéril es una dispersión selectiva que sufren cada uno de los dos materiales. Según lo determinado, las minas poseen lechos de polvo de carbón que son dispersables con velocidades del aire mayores a 3 m/s, si se esquistifica con frecuencia se puede obtener un depósito estratificado de polvo de carbón-estéril, de

lo contrario si una explosión genera velocidades de la corriente de aire del orden de 3 a 5 m/s, se dispersaría el polvo de carbón, más no el polvo estéril.

Después de esta dispersión selectiva, el polvo de carbón suspendido en la atmósfera queda sin protección durante unas centésimas de segundos, antes que entre en suspensión el polvo estéril, este corto intervalo de tiempo es definitivo para que el polvo combustible sea o no alcanzado por la llama de la explosión.

Depósitos de polvo de carbón - estéril con una humedad del 15 al 20 % sufren un incremento del 60 al 100 % en la densidad (PB) del estéril y una disminución de la del polvo de carbón en un 30 a 40 %.

Este cambio de densidad aumentará la diferencia de tiempo de dispersión entre el polvo de carbón y el estéril, incrementando el peligro de propagación de la explosión.

4.1.5 Tasa de esquistificación

La cantidad de material incombustible a agregar en las minas está determinada en función de diversos parámetros, a los que es bastante difícil establecer su grado de influencia y su relación con los demás. Los parámetros mencionados son:

- La concentración de los depósitos de polvo de carbón (que se determinó a partir de la tasa de depositación).
- La tasa de materias volátiles.
- Tenor de grisú.
- Violencia de la iniciación de la explosión.
- Granulometría del estéril.
- Grado de homogenización del depósito de polvo de carbón-incombustible.

La variabilidad de las condiciones bajo las cuales se realizaron los muestreos, obliga a fijar un margen de seguridad al determinar la tasa de neutralización según los anteriores parámetros.

La disposición a la inflamación y la propagación de una llama en un golpe de polvo, aumentan simultáneamente

con la proporción de materias volátiles en el polvo de carbón depositado..

Las tasas de neutralización requeridas para la esquistificación de un depósito de polvo de acuerdo con su contenido de materias volátiles; se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 9 Tasa de neutralización a partir de M.V.(HBC.H. Houlleres de Blanzy, 1.977).

Porcentaje de M.V.	Tasa de neutralización. (T).
< 18 %	55 %
18 % - 29 %	65 %
> 29 %	70 %

Si existe grisú en la atmósfera de una galería se debe aumentar la tasa de neutralización convencional (T) para evitar una explosión.

El incremento ΔT puede ser calculado según la expresión propuesta por R. Loison, así:

$$\Delta T = \frac{(100-T)}{6} * G$$

Donde: ΔT : Variación de la tasa de neutralización convencional.

G : Tenor de Grisú.

Según la relación anterior, la variación de la tasa de neutralización se incrementa en más del 5% en galerías débilmente grisutas y en más del 10% en galerías con un tenor de grisú mayor del 2%. Todas las minas consideradas en este estudios pueden considerarse como débilmente grisutas.

Para alcanzar una buena homogenización de la mezcla polvo de carbón-estéril es necesario considerar un margen de seguridad de aproximadamente 10% en la cantidad de polvo estéril a adicionar, por lo que se incrementa aún más la tasa de neutralización en cada una de las minas; sin embargo, el contenido de cenizas en los polvos de carbón, disminuye los requerimientos de material inerte a agregar, determinados según los factores expuestos. Cada sección en las minas se beneficia de una manera diferente, tal como se observa

en la tabla 10. En esta tabla también se muestran las tasas de neutralización calculadas a partir de los índices de explosividad

Donde :

T-A=Tasa de neutralización convencional - Contenido de Cenizas.

$$T \text{ Corregida} = (T - A) + 10\%.$$

Otro factor importante que influye sobre la tasa de neutralización es la granulometría del polvo de carbón. Se ha determinado que las tasas de neutralización requeridas aumentan cuando disminuye el tamaño de partícula de polvo de carbón.

De lo anterior se desprende que es necesario aumentar la tasa de neutralización en cada una de las minas estudiadas, ya que la mayoría de los polvos producidos en cada uno de los puntos de generación muestreados presentan granulometrías mucho menores de 0.2 mm. Una tasa de neutralización ideal se fija con base en el polvo de carbón que se deposita periódicamente en cada mina, sin embargo la tasa de neutralización calculada en la tabla 10 está relacionada con la magnitud de los depósitos de polvo existentes, además de la tasa de depositación experimental medida en cada punto de generación de polvo de carbón.

Luego de la aplicación del material estéril a los depósitos de polvo de carbón, se adelanta una campaña de muestreo de la mezcla de polvo carbón-estéril y se realizan los análisis de laboratorio de igual manera que los que se efectuaron a las muestras de polvo de carbón, este nuevo análisis sirve para determinar la variación de los parámetros de explosividad de la nueva mezcla carbón-estéril: confirmando así la eficiencia de la operación de neutralización con base en las tasas de esquistificación previamente establecidas.

La frecuencia de neutralización con caliza es posible calcularla en aquellos puntos de generación de polvo de carbón donde sea factible determinar la tasa de depositación. Debido a los métodos de explotación, infraestructura existente y condiciones locales en algunos sectores, la tasa de depositación sólo se determinó en ciertas galerías y puntos de transferencia

Tabla 10. Tasas de neutralización (según Palmer).

Referencia	Cenizas (%)	Materia Volátil (%)	T. (PALMER)	T-A (%)	T Corregida (%)
M1 m1 PD	30.00	33.23	62.39	32.39	42.39
M1 m2 PD	30.57	33.14	62.28	31.71	41.71
M1 m3 PD	30.30	32.29	61.29	30.99	40.99
M1 m4 PD	30.00	33.23	62.39	32.39	42.39
M1 m5 PD	31.99	32.73	61.81	29.82	39.82
M1 m6 PD	29.91	32.71	61.79	31.88	41.88
M1 m7 PD	31.65	31.82	60.72	29.07	39.07
M1 m8 PD	31.53	32.12	61.09	29.56	39.56
M1 m9 PD	29.95	32.72	61.79	31.84	41.84
M1 m10 PD	36.45	30.21	58.62	22.17	32.17
M1 m11 PD	37.84	29.63	57.81	19.97	29.97
M1 m12 PD	28.05	32.45	61.48	33.43	43.43
M1 m13 PD	31.38	32.16	61.14	29.76	39.76
M1 m14 PD	33.10	30.44	58.94	25.84	35.84
M1 m15 PD	32.95	31.21	59.45	27.00	37.00
M1 m16 PD	36.66	30.04	58.39	21.73	31.73
M1 m17 PD	39.34	29.16	57.13	17.79	27.79
M1 m18 PD	39.10	29.07	57.00	17.90	27.90
M1 m19 PD	30.28	31.74	60.62	30.34	40.34
M1 m20 PD	35.18	31.48	60.29	25.11	35.11
M1 m21 PD	34.96	30.97	59.63	24.67	34.67
M1 m22 PD	36.01	30.68	59.25	23.24	33.24
M1 m23 PD	32.74	31.86	60.76	28.02	38.02
M1 m24 PD	38.45	30.27	58.70	20.25	30.25
M1 m25 PD	32.52	31.63	60.48	27.96	37.96
M1 m26 PD	37.57	30.34	58.80	21.23	31.23
M1 m27 PD	34.99	31.19	59.92	24.93	34.93
M1 m28 PD	36.46	30.38	58.85	22.39	32.39
M1 m29 PD	35.57	30.19	58.59	23.02	33.02
M1 m30 PD	35.99	30.45	58.95	22.96	32.96
M1 m31 PD	38.01	29.45	57.55	19.54	29.54
M1 m32 CF	2.68	40.88	69.42	66.74	76.74
M1 m33 CF	4.85	39.61	68.44	63.59	73.59
M1 m34 CF	4.92	40.49	69.13	64.21	74.21

Tabla 10. Tasas de neutralización (según *Palmer*). (continuación)

Referencia	Cenizas (%)	Materia Volátil (%)	T. (PALMER)	T-A (%)	T Corregida (%)
M1 m35 CF	3.87	40.93	69.46	65.59	75.59
M1 m36 CF	3.02	40.83	69.39	66.37	76.37
M2 m1 PD	30.28	34.46	63.73	33.45	43.45
M2 m2 PD	26.87	35.91	65.19	38.32	48.32
M2 m3 PD	18.43	39.25	68.15	49.72	59.72
M2 m4 PD	22.28	36.14	65.41	43.13	53.13
M2 m5 PD	22.61	34.63	63.90	41.29	51.29
M2 m6 PD	34.16	31.76	60.64	26.48	36.48
M2 m7 PD	36.43	33.40	62.57	26.14	36.14
M2 m8 PD	33.16	33.18	62.33	29.17	39.17
M2 m9 PD	25.31	35.15	64.44	39.13	49.13
M2 m10 PD	22.64	37.25	66.44	43.80	53.80
M2 m11 PD	36.50	31.39	60.17	23.67	33.67
M2 m12 CF	5.07	40.72	69.30	64.23	74.23
M2 m13 CF	11.88	39.22	68.13	56.25	66.25
M2 m14 CF	11.60	39.65	68.47	56.87	66.87
M2 m15 CF	12.54	37.91	67.03	54.49	64.49
M2 m16 CF	15.97	37.43	66.60	50.63	60.63
M2 m17 CF	21.36	37.36	66.54	45.18	55.18
M3 m1 PD	12.80	35.85	65.13	52.33	62.33
M3 m2 PD	17.30	35.15	64.44	47.14	57.14
M3 m3 PD	7.75	37.49	66.65	58.90	68.90
M3 m4 PD	16.59	35.17	64.46	47.87	57.87
M3 m5 PD	22.75	33.17	62.31	39.56	49.56
M3 m6 PD	38.73	29.04	56.95	18.22	28.22
M3 m7 CF	5.88	39.43	68.30	62.42	72.42
M3 m8 CF	8.32	35.73	65.02	56.70	66.70
M4 m1 PD	26.88	31.79	60.68	33.80	43.80
M4 m2 PD	25.22	33.75	62.96	37.74	47.74
M4 m3 PD	23.99	34.61	63.89	39.90	49.90
M4 m4 PD	33.32	30.27	58.71	25.39	35.39
M4 m5 PD	30.26	31.70	60.57	30.31	40.31
M4 m6 CF	6.14	41.02	69.53	63.39	73.39
M4 m7 CF	4.28	40.38	69.05	64.77	74.77

en las minas 1 y 2, siendo imposible su cuantificación en otros sitios, a pesar de presentar fuertes acumulaciones de polvo de carbón, tal como se aprecia en la tabla 6.

La cantidad de material estéril necesaria para la neutralización de un depósito de polvo de carbón se calcula mediante la siguiente relación:

$$T = \frac{Q_e}{Q_{pd} + Q_e} \text{ de donde : } Q_e = \frac{T * Q_{pd}}{1 - T}$$

Donde: T Tasa de neutralización corregida, en fracción (ver la tabla Palmer).

Q_e Cantidad de material estéril a adicionar (Kg).

Q_{pd} Cantidad de polvo de carbón depositado (Kg).

La frecuencia de neutralización con material estéril se calcula a través de la siguiente expresión:

$$f = \frac{V * C}{T_d * A_L}$$

Donde: f Frecuencia de neutralización (días); V Volumen de la galería (m^3); C Concentración medida a partir de Q_{pd} , (g/m^3); T_d Tasa de depositación (g/m^2h); A_L : Área lateral (m^2).

La tabla 11 muestra la cantidad de material estéril a adicionar (caliza) y la frecuencia de neutralización para algunos puntos definidos en las minas 1 y 2.

De acuerdo con los valores anteriores, es posible definir una frecuencia de neutralización de dos veces por mes para cada uno de los puntos críticos, en cuanto a generación de polvo de carbón.

4.1.6 Costos y diseño del esquistificador

El modelo que aquí se propone para la operación de esquistificación fue desarrollado por el Centro del Carbón de la Universidad Nacional en el estudio de Condiciones ambientales. Es un mecanismo sencillo, el cual se esquematiza en la figura 1 y cuyo diseño está basado en las siguientes consideraciones:

- Equipo liviano y de fácil manipulación en los sectores más pulverulentos de las minas.
- Un compresor eléctrico de fácil conexión en cualquier punto de las minas.
- Capacidad de la tolva para material estéril (caliza) de aproximadamente 50 Kg.

Este modelo fue diseñado según los requerimientos de material estéril en las cuatro minas estudiadas. La forma de operación consiste en proyectar con el aparato, el carbonato de calcio sobre paredes, pisos y techos de las galerías y sitios de mayor empolvamiento. El tiempo de fijación del chorro de polvo de caliza en un área determinada, se establecerá experimentalmente buscando fijar una capa de material estéril con un espesor que sea aproximadamente el 20% menor que los espesores de capa de carbón ponderados, ya que la densidad de la caliza es mucho más elevada que la del polvo de carbón.

4.1.7 Costos

Costos iniciales	\$
Compresor (80 lb/pg2)	300.000
Tolva y Soporte	60.000
Manguera (1/2 pg, 6 m.)	4.560
Fabricación	24.000
Total	388.560

Tabla 11. Frecuencias de neutralización.

Lugar	T_d (g/m^2h)	V (m^3)	C (g/m^3)	A_L (m^2)	Q_{pd} (Kg).	T (fracción)	Q_e (Kg).	f Días.
M1 m25	4.25	68	368.47	83	25.06	0.3796	15.33	5
M1 m10	0.53	2064	153.3	2544	316.42	0.3217	150	15
M2 m10	1.06	300	97.6	240	29.28	0.5972	43.4	7

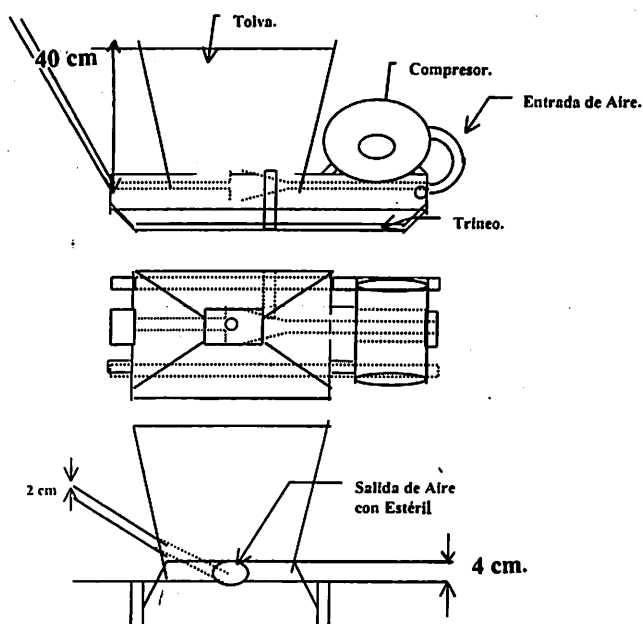


Figura 1 Diseño del Esquistificador.

Tomando un tiempo de vida útil del equipo de 10 años, se tiene un costo mensual de \$ 3.238, común a todas las minas, costo que es necesario dividir por la cantidad total de los puntos considerados como críticos, de acuerdo con la tabla 11.

Costos de operación	\$ /mes	
Material estéril (caliza (\$/ton))	40.000	X
Mano de obra (\$/día)	20.880	83.520
Energía (Kw/h)	576	27.648
Análisis de laboratorio	4.800	4.800
Recuperación costo del equipo		Y

Estos costos son comunes a las cuatro minas para un sector en particular. El costo total de la operación se obtiene de la suma de los costos de neutralización efectuados para cada punto crítico de las minas.

La cantidad X depende del consumo de material estéril en cada sector, el cual es variable, y la cantidad Y depende del número de puntos a neutralizar en cada mina.

El calculo de los costos de neutralización en el tramo de galería de la mina 1, (M1 ml0) es el siguiente:

Costos de operación	\$ /mes
Caliza molida	12.000
Mano de obra	83.520
Energía	27.648
Análisis de laboratorio	4.800
Recuperación costo del equipo	270
Total	128.238

Considerando una producción de carbón de 30.000 ton/Mes, el costo de neutralización con polvo de caliza para este lugar, por tonelada de carbón extraída es de 4.27 \$/t.

De acuerdo con este costo, se puede afirmar que el costo total de neutralización para todos los sectores de la mina es inferior a 50 \$/t.

5. CONCLUSIONES

En vista de que un alto porcentaje de los polvos que fueron sometidos a análisis granulométrico es de tamaño inferior a 0.149 mm (malla 100), el tamaño de partícula del polvo estéril para la neutralización coincide también con este tamaño, favoreciendo la dispersión del polvo de carbón y del material estéril simultáneamente. El material estéril más utilizado es el polvo de caliza.

El espesor teórico de la capa de polvo de carbón, el cual es del orden de 0.06 mm, es un parámetro determinante para la susceptibilidad a la explosión de los depósitos de polvo; y en algunos sitios de las minas estudiadas se encontraron depósitos que sobrepasaron este espesor teórico.

El método de neutralización por medio de polvo estéril (caliza), es eficiente y técnicamente aplicable a todas las minas, una de sus ventajas radica en que el material estéril se mezcla con el polvo de carbón en todas las zonas que son potencialmente peligrosas, entrando en acción en el momento que se genera una puesta en suspensión de la nube.

6. RECOMENDACIONES

Para la prevención de las explosiones de polvo, se puede implementar en cada una de las minas la combinación de varios métodos de gran importancia que permiten disminuir y controlar los depósitos de polvo de carbón que se forman en algunos sitios, algunos de estos métodos son: las duchas de agua en sitios donde posiblemente se pueda suspender el polvo de carbón al ser manipulado (descargas, salida del frente de explotación, etc.), las barreras de protección (de polvo estéril o de agua) a lo largo de algunas galerías de transporte; cada uno de estos dispositivos se instalaría en sitios previamente determinados por el personal de seguridad, teniendo en cuenta la conveniencia de cada método en tales sitios.

Los métodos de neutralización definidos, especialmente la neutralización con polvo de caliza, constituyen un medio de prevención y lucha contra una posible explosión de polvo de carbón que puede ser muy útil en las minas estudiadas, por su fácil implementación y porque no representa un costo considerable con relación a la tonelada de carbón extraído.

Es muy conveniente que cada una de las minas relativamente grandes cuente con su equipo de esquistificación y con un laboratorio requerido para llevar a cabo el control de la operación. De otro lado, la regional de ECOCARBON en Amagá puede disponer de varios equipos como este con el fin de prestar el servicio a pequeñas minas donde se requiera de una eventual neutralización.

El estudio de la variación de las características explosivas del polvo de carbón en presencia de metano, sería un buen aporte para determinar la cantidad de incombustible que es necesario añadir en tales condiciones, o el medio de lucha adecuado para esta situación.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Condiciones ambientales de la minería subterránea del carbón en la cuenca Amagá-Angelópolis. Centro del Carbón, Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, 1996.
- Mc Pherson, M.J. Subsurface Ventilation and Environmental Engineering. Ed. Chapman and Hall. 1993.
- García Torrent, J. Influencia de la composición de los carbones en su explosividad. Rev. Canteras y Explotaciones, Mayo 1991, p.68-73.
- Palmer, K.N. Dust explosions and Fires. Ed Chapman and Hall, 1973
- The Mine Ventilation Society of South Africa. Environmental Engineering in South African Mines. Cap. 15,28. 1989
- Nagy, J. Portman, W.M. Explosivity of coal dust in an atmosphere containing a low percentage of methane, U.S. Bureau of Mines, 1961.