



51940

65809/37

Sp. 11

Sp. 1

262155

OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO

78243 / 464 p BIBL

**GUÍA PARA LA PREVENCIÓN
Y LA SUPRESIÓN DEL POLVO
EN LAS MINAS, LOS TÚNELES
Y LAS CANTERAS**

GINEBRA

1965



ÍNDICE

| | Páginas |
|--|---------|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO PRIMERO: <i>El polvo y sus efectos patológicos</i> | 5 |
| Las partículas de polvo en suspensión en el aire | 6 |
| Las neumoconiosis | 7 |
| Partículas peligrosas | 9 |
| Incidencia de las neumoconiosis | 11 |
| Determinación del riesgo coniótico | 13 |
| Concentraciones permisibles | 14 |
| Australia | 15 |
| Canadá | 15 |
| Estados Unidos | 16 |
| Polonia | 16 |
| Reino Unido | 17 |
| Procedimientos para evitar las concentraciones de polvo peligrosas | 18 |
| CAPÍTULO II: <i>El agua en las minas</i> | 22 |
| Fuentes de abastecimiento de agua | 22 |
| Calidad del agua | 23 |
| Tratamiento del agua de infiltración | 24 |
| Toma de muestras | 25 |
| Recuento de las partículas que contienen las muestras | 26 |
| Cantidad de agua necesaria | 26 |
| Presión | 27 |
| Tuberías | 29 |
| Bombas auxiliares | 29 |
| Vagones cisternas | 30 |
| Agentes humectantes | 30 |
| CAPÍTULO III: <i>El agua en la lucha contra el polvo</i> | 34 |
| Los rociadores | 36 |
| Características generales | 36 |
| Caudal de agua lanzado | 36 |
| Características del rociamiento | 39 |

| | Páginas |
|--|-----------|
| Limpieza del agua | 40 |
| Instalaciones de rociamiento mandadas a mano | 40 |
| Instalaciones de regulación automática | 41 |
| El vapor de agua | 42 |
| Condensación natural | 43 |
| CAPÍTULO IV: Ventilación | 44 |
| Ventilación principal | 44 |
| Funciones de la ventilación | 46 |
| Sistemas de ventilación | 48 |
| Velocidad y volumen del aire | 51 |
| La velocidad del aire y el grado de concentración del polvo | 52 |
| Asentamiento del polvo | 53 |
| Aglomeración de las partículas | 53 |
| Ventilación auxiliar | 53 |
| Volumen de aire necesario | 54 |
| Ventiladores | 55 |
| Conductos de aire | 57 |
| Ventilación del fondo de las galerías de avance | 58 |
| Elección del sistema de ventilación | 58 |
| Sistema de aspiración del aire | 60 |
| Sistema de lanzamiento de aire | 62 |
| Vías paralelas | 64 |
| Sistema de lanzamiento y aspiración de aire combinados | 65 |
| Ventilación de los frentes de arranque | 68 |
| Minas de metal | 68 |
| Minas de carbón | 70 |
| Ventilación de los pozos que se están profundizando | 76 |
| Vigilancia | 79 |
| Planos y registros | 79 |
| CAPÍTULO V: Captación y filtración del polvo en el fondo de las minas | 80 |
| Lugares donde se produce polvo | 81 |
| Instalaciones de aspiración | 82 |
| Filtración del polvo | 86 |
| Colectores mecánicos | 87 |
| Filtros de tela | 90 |
| Mangas | 90 |
| Instalación | 95 |

| | Páginas |
|--|------------|
| Conservación | 96 |
| Tratamiento de las telas | 97 |
| Filtros enmarcados | 97 |
| Filtros de bolsa | 97 |
| Rendimiento de los filtros de tela | 98 |
| Tipos de telas para filtros | 98 |
| Filtros de serrín | 99 |
| Precipitadores electrostáticos | 99 |
| Ensayo de los filtros | 103 |
| Conservación de los aparatos colectores de polvo | 106 |
| CAPÍTULO VI: Control del techo y sostenimiento | 108 |
| Supresión del polvo en las operaciones de relleno | 108 |
| Relleno completo a mano | 109 |
| Vuelco del material de relleno | 110 |
| Relleno por tuberías | 111 |
| Relleno centrífugo | 112 |
| Relleno por perforación de falsas galerías | 113 |
| Relleno hidráulico | 113 |
| Relleno neumático | 114 |
| Materiales de relleno | 115 |
| Supresión del polvo | 117 |
| Transporte del material de relleno | 117 |
| Tipos de máquinas rellenas | 118 |
| Descarga del material en el lugar de relleno | 119 |
| Protección de los alrededores de la zona de relleno | 122 |
| Derrumbe | 124 |
| Instalaciones subterráneas de trituración | 128 |
| Empernado del techo | 129 |
| Recorte del techo | 129 |
| CAPÍTULO VII: Perforación | 131 |
| Operaciones de perforación efectuadas con martillos perforadores con inyección de agua | 133 |
| Martillos perforadores con inyección central | 133 |
| Martillos perforadores con inyección lateral | 139 |
| Barrenas | 142 |
| Brocas | 142 |
| Inyección de agua | 144 |
| Perforación en terrenos difíciles | 144 |

| | |
|--|------------|
| Sincronización de la admisión de aire y de la inyección de agua | 145 |
| Perforación rotativa | 145 |
| Perforación en seco | 147 |
| Condiciones de funcionamiento de las máquinas de perforación en seco | 147 |
| Dispositivos de captación del polvo | 148 |
| Eliminación del polvo | 152 |
| Inspección y conservación de toda clase de máquinas perforadoras | 152 |
| Máquinas perforadoras con inyección central | 156 |
| Máquinas perforadoras con inyección lateral | 157 |
| Máquinas de perforación en seco | 157 |
| Ensayo de las máquinas perforadoras | 158 |
| CAPÍTULO VIII: Pega de barrenos o voladuras | 159 |
| Precauciones generales | 159 |
| Voladuras en roca | 161 |
| Voladuras en capas de carbón | 163 |
| Pega de barrenos rellenos con agua | 164 |
| Cartuchos de agua para la pega de barrenos | 169 |
| Cortinas de agua atomizada | 171 |
| Filtración en seco | 177 |
| CAPÍTULO IX: Arranque del carbón | 178 |
| Consideraciones generales | 179 |
| Características físicas del carbón | 179 |
| Condiciones de la capa de carbón y estado del frente de arranque | 179 |
| Máquinas para el arranque del carbón | 180 |
| Control y sostenimiento del techo | 181 |
| Los martillos picadores | 181 |
| Construcción de los martillos picadores | 182 |
| Utilización del agua | 183 |
| Martillos picadores con nebulizadores | 185 |
| Condiciones de utilización | 185 |
| Rozadoras | 185 |
| Roza con humidificación del material | 186 |
| Causas secundarias de producción de polvo | 188 |
| Suministro de agua | 191 |
| Utilización de la espuma durante la roza | 191 |

| | Páginas |
|---|------------|
| Arranque y carga mecánicos | 193 |
| Elección de las máquinas | 193 |
| Máquinas de avance continuo | 195 |
| Infusión de agua | 198 |
| Posibilidades de aplicación del procedimiento | 200 |
| La infusión de agua en la explotación por tajos largos | 201 |
| Cómo se deben perforar los orificios de inyección | 201 |
| Distancia que debe haber entre un orificio y otro | 201 |
| Profundidad de los orificios | 202 |
| Perforación de los orificios | 202 |
| Tubos de inyección del agua | 203 |
| Posición del obturador | 203 |
| Suministro de agua | 205 |
| Material de ensayo | 206 |
| La infusión de agua en la explotación por cámaras y pilares | 206 |
| Infusión a alta presión | 207 |
| Capacitación del personal y control | 209 |
| Procedimientos que permiten prescindir de las voladuras | 210 |
| Procedimiento « Cardox » | 211 |
| Procedimiento « Airdox » | 212 |
| Procedimiento « Hydrox » | 213 |
| Procedimiento « Chemecol » | 215 |
| Cuñas hidráulicas | 215 |
| Arranque del carbón por voladuras e infusión de agua combinadas | 216 |
| CAPÍTULO X: Transporte de los productos | 217 |
| La carga a mano | 218 |
| Riego | 219 |
| Infusión en el macizo | 219 |
| Cargadoras mecánicas utilizadas en el frente | 219 |
| Cucharas de arrastre | 220 |
| Transportadores a sacudidas | 221 |
| Cargadoras mecánicas utilizadas en la perforación de túneles y galerías y en la excavación de pozos | 222 |
| Chimeneas y pasos para mineral | 223 |
| Minas de metal | 223 |
| Minas de carbón | 224 |

| | Páginas |
|--|------------|
| Transportadores de correa | 225 |
| Desprendimiento de polvo | 225 |
| Medidas para combatir el polvo | 226 |
| Estudio de la instalación del transportador y montaje del mismo | 226 |
| Eliminación del polvo adherido a las correas | 227 |
| Supresión del polvo en los puntos de carga y de transbordo | 231 |
| Rociamientos | 232 |
| Limpieza del camino que recorren los transportadores | 234 |
| Las vagonetas | 236 |
| Riego | 237 |
| Caída del mineral al suelo durante el transporte | 237 |
| Galerías | 238 |
| Locomotoras | 238 |
| Cámaras de reunión de vagonetas | 238 |
| Vertederos | 239 |
| Chimeneas principales | 240 |
| Extracción del mineral a la superficie por medio de jaulas | 241 |
| Extracción del mineral a la superficie por medio de skips | 241 |
| Carga | 241 |
| Caída del mineral al suelo durante su extracción a la superficie | 242 |
| Inspección y control | 243 |
| Transporte de materiales en el fondo | 243 |
| CAPÍTULO XI: <i>Circulación por las galerías subterráneas</i> | 245 |
| Transporte de los trabajadores | 246 |
| Galerías de circulación especiales | 247 |
| Eliminación del polvo depositado | 247 |
| Consolidación del polvo depositado en las galerías | 248 |
| Métodos de consolidación del polvo | 249 |
| Riego de la capa de polvo | 250 |
| Cómo se debe esparcir el cloruro de calcio | 251 |
| Conservación del piso de la galería en buenas condiciones | 253 |
| Utilización del cloruro de magnesio | 253 |
| Utilización del cloruro de sodio | 254 |
| CAPÍTULO XII: <i>Instalaciones de preparación y otras instalaciones de superficie</i> | 256 |
| Principios generales aplicables | 256 |
| Utilización del agua | 257 |

| | Páginas |
|---|------------|
| Los edificios | 257 |
| Ventilación general | 258 |
| Ventilación auxiliar | 258 |
| Campanas de aspiración | 259 |
| Conductos de aspiración | 264 |
| Captación del polvo | 267 |
| Tipos de instalaciones de captación de polvo | 267 |
| Descarga del polvo | 272 |
| El polvo depositado | 272 |
| Instalaciones para la preparación del carbón | 274 |
| Basculadores | 274 |
| Cribones | 275 |
| Correas clasificadoras y seleccionadoras | 277 |
| Instalaciones de trituración | 277 |
| Equipo de transporte | 277 |
| Transportadores | 278 |
| Tolvas y depósitos | 278 |
| Plantas de beneficio de minerales | 279 |
| Manejo y transporte de los minerales | 280 |
| Instalaciones de trituración de minerales | 280 |
| Transportadores de correa | 282 |
| Depósitos y tolvas | 283 |
| Cribones | 284 |
| Correas clasificadoras y seleccionadoras | 285 |
| Filtros de tambores rotativos | 285 |
| Instalaciones de fundición | 285 |
| Otras operaciones en que se produce polvo | 286 |
| Laboratorios de ensayo | 286 |
| Talleres | 288 |
| Talleres de afilado de barrenas | 288 |
| Talleres de forja y de construcción de calderas | 289 |
| Talleres de soldadura | 290 |
| Talleres de electricidad | 291 |
| Reparación de las trituradoras tubulares | 293 |
| Vestuarios y depósitos de lámparas | 293 |
| Canteras | 294 |
| Fragmentación de la roca | 294 |
| Trituración, cribado y apartado mecánicos | 295 |
| Talla a mano o con instrumentos neumáticos | 296 |

| | Páginas |
|--|------------|
| Talla a máquina | 296 |
| Carga y transporte | 298 |
| Inspección | 298 |
| CAPÍTULO XIII: <i>Perforación de túneles</i> | 300 |
| Operaciones de perforación | 301 |
| Orificios suplementarios de escape de los martillos perforadores | 302 |
| Inyección de una mezcla de aire y agua | 302 |
| Suministro de agua | 303 |
| Perforación en seco | 303 |
| Voladuras | 303 |
| Ventilación | 305 |
| Sistemas de ventilación | 305 |
| Conductos de ventilación | 307 |
| Carga, transporte y descarga | 308 |
| Carga | 308 |
| Transporte | 308 |
| Descarga | 309 |
| Entibado temporal | 309 |
| Reforzamiento de techos y muros | 309 |
| Limpieza de los lugares de trabajo | 310 |
| Vigilancia | 310 |
| CAPÍTULO XIV: <i>Algunos problemas especiales</i> | 312 |
| Esquistificación en las minas de carbón | 312 |
| Altitud | 313 |
| Temperatura y humedad | 314 |
| Eliminación del polvo y de los humos después de las voladuras . . | 315 |
| Instalaciones subterráneas de trituración de roca | 316 |
| Radiactividad | 318 |
| CAPÍTULO XV: <i>Protección individual</i> | 319 |
| Condiciones que deben reunir las máscaras de filtro | 320 |
| Ensayo y aprobación de las máscaras | 321 |
| Características generales | 321 |
| La máscara propiamente dicha | 323 |
| Válvulas | 323 |
| Eliminación del sudor | 324 |

| | Páginas |
|---|------------|
| Bandas de fijación | 324 |
| Filtros | 324 |
| Aparatos de aire comprimido | 325 |
| Conservación de las máscaras en buen estado | 327 |
| Limpieza | 328 |
| Secado | 330 |
| Lugares para guardar las máscaras | 330 |
| Control de los filtros | 330 |
| Vigilancia | 332 |
| CAPÍTULO XVI: Muestreo, medición y análisis del polvo en suspensión en el aire | 333 |
| Objeto de estas medidas | 333 |
| Concentración del polvo | 334 |
| Composición del polvo por tamaños de partículas | 334 |
| Composición mineralógica | 336 |
| Componentes no minerales | 337 |
| Factores que influyen en los resultados de las mediciones | 337 |
| Principios fundamentales | 339 |
| Toma de muestras | 340 |
| A. Instrumentos | 340 |
| Instrumentos basados en el principio de la sedimentación | 341 |
| Tubos ranurados para toma de muestras | 341 |
| Instrumentos ópticos | 342 |
| Instrumentos basados en el principio de la colisión | 343 |
| El midget-impinger | 344 |
| El midget-scrubber | 345 |
| El pre-impinger | 346 |
| Los conímetros | 347 |
| Instrumentos de filtración | 351 |
| Instrumento de toma de muestras Le Bouchet | 352 |
| Colector de polvo CERCHAR | 352 |
| Filtro Göthe | 352 |
| Filtro Füssel | 353 |
| Bomba de mercurio Zurlo | 353 |
| Bomba a mano P.R.U. | 353 |
| Bomba a mano Dräger | 354 |
| Filtro Soxhlet | 354 |

| | Páginas |
|--|------------|
| Instrumento de toma de muestras y selección granulométrica Hexhlet | 355 |
| Aparato de Gast | 356 |
| Instrumentos de funcionamiento continuo | 356 |
| Aparato selector Coniciclo | 357 |
| El SIMGARD | 357 |
| Precipitador térmico de funcionamiento continuo | 358 |
| Aparato de toma de muestras con tubo ranurado | 358 |
| Precipitadores electrostáticos | 358 |
| Aparato de toma de muestras electrostático | 359 |
| La balanza de Gast | 360 |
| Precipitador térmico | 360 |
| Instrumentos que se utilizan para la investigación | 365 |
| B. Operaciones | 368 |
| Estudios generales | 368 |
| Muestreos corrientes | 369 |
| Elección del instrumento | 370 |
| Lugares donde se deben tomar las muestras | 371 |
| Frecuencia con que se deben tomar las muestras | 372 |
| Datos que se deben registrar | 372 |
| Estudios especiales | 373 |
| Métodos aplicados en distintos países | 374 |
| Francia | 374 |
| Reino Unido | 376 |
| República Sudafricana | 378 |
| Medición de las concentraciones de polvo | 380 |
| Instrumentos ópticos | 381 |
| Muestras tomadas con instrumentos basados en el principio de la colisión | 382 |
| El midget-impinger y el midget-scrubber | 382 |
| Utilización del pre-impinger | 383 |
| El conímetro | 383 |
| Muestras tomadas con instrumentos filtrantes | 386 |
| Filtro Göthe | 387 |
| Filtro Füssel y bomba a mano Dräger | 388 |
| Bomba a mano P.R.U. | 389 |

| | Páginas |
|---|------------|
| Aparato Le Bouchet | 389 |
| Propiedades de los filtros de membrana | 389 |
| Precipitador térmico | 390 |
| Balanza de Gast | 392 |
| Examen de las partículas de polvo | 393 |
| Determinación de la composición del polvo por tamaños de partículas | 395 |
| Evaluación del riesgo coniótico | 395 |
| República Federal de Alemania | 396 |
| Francia | 398 |
| Análisis | 399 |
| Procedimientos químicos | 400 |
| Determinación del contenido de carbón | 401 |
| Exámenes con el microscopio | 402 |
| Análisis con rayos X | 402 |
| Análisis térmico diferencial | 403 |
| Registros | 404 |
| CAPÍTULO XVII: Educación y formación | 406 |
| Formación del personal dirigente | 407 |
| Formación de los trabajadores | 408 |
| Formación de personal especializado en la lucha contra el polvo | 410 |

ANEXOS

| | |
|--|-----|
| 1: <i>Método de recuento con microscopio de las partículas de polvo que contiene el agua de las minas</i> | 415 |
| 2: <i>Ensayo de los martillos perforadores y de las máquinas perforadoras</i> | 422 |
| 3: <i>Instalación de filtración de los humos y el polvo producidos por las voladuras</i> | 434 |
| 4: <i>Método propuesto para el recuento con microscopio de las muestras de polvo recogidas con el precipitador térmico</i> | 438 |
| 5: <i>Tipos de formularios utilizados para el registro de los resultados de la toma de muestras del polvo en las minas de carbón y en las minas de metales</i> | 442 |

| | Páginas |
|---|---------|
| 1. Formulario utilizado en las minas de metales del Canadá . . . | 444 |
| 2 a 5. Formularios utilizados en las minas de la Oficina Nacional del Carbón del Reino Unido | 446 |
| ÍNDICE ALFABÉTICO | 453 |

CUADRO

| | |
|---|-----|
| Resumen de las características de algunos instrumentos de toma de muestras | 366 |
|---|-----|

FIGURAS

| | |
|--|----|
| 1. Curva granulométrica tipo del polvo de carbón en suspensión en el aire | 9 |
| 2. Lecho filtrante de las aguas de mina: sección longitudinal. . . | 24 |
| 3. Sistema de alimentación y depósitos de agua para la explotación de un yacimiento inclinado | 28 |
| 4. Vagón cisterna bajo presión | 31 |
| 5. Sección longitudinal de un sencillo tipo de boquilla de rociador | 37 |
| 6. Boquilla de rociador de limpieza automática | 38 |
| 7. Tendencia del aire a la recirculación debido a estrechamientos y otras irregularidades del circuito | 45 |
| 8. Turboventilador para ventilación de minas | 47 |
| 9. Curva de variación del volumen de la corriente de aire según el diámetro de las vías de ventilación. | 50 |
| 10. Curva de variación del grado de concentración del polvo en sus- pensión según la velocidad de la corriente de aire | 52 |
| 11. Tipos de ventiladores utilizados para la ventilación auxiliar . . | 56 |
| 12. Juntas de reborde para conductos de ventilación de hierro galva- nizado | 59 |
| 13. Ventilación de las galerías de avance | 61 |
| 14. Ventilación de una galería de transporte por aspiración y lanza- miento de aire combinados | 63 |
| 15. Ventilación de varios frentes de talla durante trabajos prepara- torios en una mina de carbón | 64 |
| 16. Ventilación de dos vías paralelas | 66 |
| 17. Sistema de puertas de ventilación para cambiar la dirección de la corriente de aire cuando se está profundizando un pozo o abriendo una galería o un túnel | 67 |

| | Páginas |
|---|---------|
| 18. Tabiques de ventilación que dirigen el aire hacia un frente de arranque | 69 |
| 19. Tabiques de ventilación que dirigen el aire hacia un frente de arranque pendiente arriba sin comunicación con un nivel superior | 69 |
| 20. Ventilación de un sector de mina | 71 |
| 21. Plano de explotación continua con el sistema de ventilación | 72 |
| 22. Sistemas de ventilación para trabajos con máquinas continuas | 73 |
| 23. Máquinas continuas: captación del polvo con ventilación auxiliar | 74 |
| 24. Conductos de ventilación sobre una máquina continua | 75 |
| 25. Sistemas de ventilación de pozos que se están profundizando | 77 |
| 26. Ventilación de un punto de descarga de basculadores y de su cribón | 83 |
| 27. Aspiración del polvo en un punto de vuelco del material | 84 |
| 28. Instalación de descarga de basculadores en un punto de transbordo | 85 |
| 29. Colector ciclónico de polvo en seco | 88 |
| 30. Colectores centrífugos de polvo con humidificación | 89 |
| 31. Instalación de filtración horizontal de mangas de franela | 91 |
| 32. Filtro vertical de mangas múltiples con dispositivo de sacudimiento de las mangas que se hace funcionar a mano | 92 |
| 33. Filtro vertical de mangas múltiples con dispositivo de limpieza a aire comprimido | 93 |
| 34. Filtro de serrín | 100 |
| 35. Precipitador electrostático instalado en el fondo de una mina | 101 |
| 36. Curvas tipo de rendimiento del precipitador electrostático según el voltaje, la velocidad del aire, el período de utilización (para tres grados de concentración del polvo) y las dimensiones de las partículas | 104 |
| 37. Relleno neumático: curva de variación de la producción de polvo según el grado de humidificación y el grado de cohesión del material de relleno | 116 |
| 38. Máquina rellenaora neumática con dispositivo de captación del polvo por aspiración | 120 |
| 39. Captación del polvo en una máquina rellenaora con rueda de cangilones | 121 |
| 40. Relleno neumático con utilización de tabiques de ventilación | 123 |
| 41. Variación de la cantidad de polvo en suspensión durante las operaciones de derrumbe | 126 |
| 42. Utilización de rociadores durante las operaciones de derrumbe | 127 |
| 43. Martillo perforador con inyección central y orificios suplementarios de escape en la parte inferior | 134 |
| 44. Orificios de escape delante del pistón de un martillo perforador | 135 |
| 45. Curvas de producción de polvo con martillos perforadores con y sin orificios de escape delante del pistón | 136 |

| | Páginas |
|---|---------|
| 46. Principio del martillo perforador con pistón de canales herméticos | 137 |
| 47. Utilización de una pieza de acoplamiento de caucho para el cierre hermético del tubo de inyección de agua de un martillo perforador | 138 |
| 48. Martillo perforador con inyección lateral | 141 |
| 49. Orificios de salida del agua en las brocas de los martillos perforadores | 143 |
| 50. Capuchón de aspiración | 149 |
| 51. Extracción del polvo por el canal axial de la barrena | 150 |
| 52. Perforadora « Dryductor » | 151 |
| 53. Detalle del filtro que se utiliza para la perforación en seco | 153 |
| 54. Ciclones y filtro para polvo utilizados combinadamente para la perforación en seco | 154 |
| 55. Sistemas de captación del polvo utilizables en las máquinas de perforación en seco | 155 |
| 56. Pega de barrenos rellenos con agua en la roza del carbón | 165 |
| 57. Perforación de orificios para voladuras formando diferentes ángulos con el frente | 166 |
| 58. Voladuras en el macizo | 167 |
| 59. Perforación de un solo orificio para voladura paralelo al frente, en vez de varios orificios perpendiculares al mismo | 168 |
| 60. Cartucho de agua « Parisis », de cierre automático, para la pega de barrenos | 170 |
| 61. Rociadores de agua y aire para lanzar cortinas de agua atomizada | 172 |
| 62. Posición del proyector de la cortina de agua atomizada en una galería | 174 |
| 63. Lanzamiento de cortinas de neblina | 175 |
| 64. Precipitación del polvo en un conducto de retorno del aire | 175 |
| 65. Filtro transportable para la eliminación del polvo producido por las voladuras | 176 |
| 66. Retenedor de barrena perforado para martillo picador, que desvía las fugas de aire del frente de arranque | 184 |
| 67. Martillo picador con rociamiento periférico y entrada del agua controlada con un dispositivo a aire comprimido | 184 |
| 68. Martillo picador con rociamiento, con la entrada del agua y la del aire mecánicamente sincronizadas | 184 |
| 69. Rociadores exteriores montados sobre una rozadora « longwall » | 187 |
| 70. Instalación de rociamiento montada sobre una rozadora « arc-wall » | 187 |
| 71. Brazo de rozadora con instalación de riego interna | 187 |
| 72. Brazo de roza con humidificación del Central Engineering Establishment (Reino Unido) | 189 |

| | Páginas |
|--|---------|
| 73. Sistema de suministro de agua a un frente de arranque | 192 |
| 74. Rociadores montados sobre una rozadora de trépano | 196 |
| 75. Rozadora-cargadora « Gloster Getter » con el sistema de alimentación en agua del brazo horizontal superior | 197 |
| 76. Rozadora-cargadora « Meco Moore » con el sistema de alimentación en agua de los brazos | 197 |
| 77. Tubo de inyección de agua | 203 |
| 78. Inyector de agua a presión con obturador de caucho | 204 |
| 79. Infusión de agua en varios puntos del frente simultáneamente . | 208 |
| 80. proyectil « Cardox » | 212 |
| 81. proyectil « Airdox » | 214 |
| 82. Cargadora mecánica con nebulizadores | 221 |
| 83. Canaleta contorneada para el paso de los productos de un nivel a otro, en un punto de confluencia | 224 |
| 84. Cepillo metálico para correa de transportador | 228 |
| 85. Cepillo giratorio para correa de transportador | 229 |
| 86. Dispositivo con paletas para limpiar por sacudidas las correas de los transportadores | 230 |
| 87. Punto de descarga de un transportador de correa | 233 |
| 88. Punto de carga con instalación de rociamiento | 234 |
| 89. Supresión del polvo en un punto de transbordo | 235 |
| 90. Chimenea para mineral | 240 |
| 91. Aberturas de campanas de aspiración | 260 |
| 92. Campanas de aspiración de humos y vapores | 261 |
| 93. Campanas y caperuzas de aspiración de forma especialmente estudiada para distintos tipos de máquinas | 262 |
| 94. Disminución de la velocidad del aire cuanto mayor es la distancia a la entrada de un conducto circular de aspiración | 263 |
| 95. Cambio de diámetro de un conducto de aire | 264 |
| 96. Elementos del sistema de conducción del aire de forma adecuada y de forma inadecuada | 266 |
| 97. Colector húmedo a venturi | 271 |
| 98. Esquema de una instalación fija de limpieza por aspiración, en el que se muestra cómo se utilizan los aspiradores | 273 |
| 99. Estructuras de aislamiento y sistemas de aspiración del polvo en puntos de transbordo de transportadores de correa | 276 |
| 100. Sistema de captación del polvo en una instalación de trituración de minerales | 281 |
| 101. Campanas de aspiración instaladas sobre transportadores de correa | 283 |
| 102. Dispositivo de aspiración para cribones | 284 |
| 103. Mesa de laboratorio para el examen de muestras de minerales . | 287 |
| 104. Campanas de aspiración para muelas abrasivas | 289 |
| 105. Sistema de ventilación por aspiración de un taller de soldadura . . | 290 |

| | Páginas |
|---|---------|
| 106. Aspiración de los humos que se producen en las operaciones de soldadura por arco eléctrico por medio de una boca de aspiración móvil | 291 |
| 107. Captación del polvo en los motores eléctricos | 292 |
| 108. Ventilación de un túnel con dos ventiladores centrifugos instalados en serie | 306 |
| 109. Máscara contra el polvo con admisión de aire | 326 |
| 110. Esquema de una instalación de revisión y limpieza de máscaras contra el polvo | 329 |
| 111. Retención alveolar de las partículas de densidad igual a 1 g/cm ³ | 336 |
| 112. Midget-impinger | 344 |
| 113. Sección vertical de un conímetro Witwatersrand | 348 |
| 114. Bergbau-Konimeter | 349 |
| 115. Portafiltro para filtro Soxhlet | 355 |
| 116. Aparato de toma de muestras electrostático | 359 |
| 117. Principio de funcionamiento de la balanza de Gast | 361 |
| 118. Principio de funcionamiento del precipitador térmico | 362 |
| 119. Precipitador térmico | 363 |
| 120. Sección de la cabeza del precipitador térmico | 364 |
| 121. Reticulo para el examen de muestras tomadas con el conímetro | 385 |
| 122. Placa de metal para el montaje provisional de las láminas sobre las cuales se hallan las muestras de polvo tomadas con el precipitador térmico, para el recuento de las partículas | 392 |
| 123. Reticulo para la determinación del tamaño de las partículas de las muestras de polvo tomadas con el precipitador térmico | 393 |
| 124. Célula de inmersión para el tratamiento de las muestras de polvo | 394 |
| 125. Posición de las secciones de recuento en una célula para el examen de las muestras de polvo con el microscopio | 418 |
| 126. Galería experimental de perforación en la República Sudafricana | 430 |
| 127. Esquema de una instalación para la eliminación de los humos y el polvo producidos por las voladuras | 435 |

LÁMINAS

- I. Microfotografía electrónica de las partículas captadas en un punto de vuelco de basculadores.
- II. Utilización de rociadores para la precipitación del polvo en una zona de derrumbe y después de una voladura.
- III. Dispositivo de rociamiento de vagonetas.
Rociador montado sobre una máquina rellena.
- IV. Vagoneta con bomba para el rociamiento de las galerías de minas.
Regulador automático de la salida de agua de los rociadores para transportadores de correa.

-
- V. Filtro húmedo para polvo.
Instalación de filtración en una galería de transporte.
 - VI. Sistemas de ventilación aspirante en instalaciones de superficie.
 - VII. Estructuras de aislamiento y dispositivos de aspiración en un punto de transbordo y sobre cribones.
 - VIII. Algunos tipos de máscaras de protección contra el polvo.
 - IX. Filtros de máscaras de protección contra el polvo.
 - X. Bergbau-Konimeter; conímetro Zeiss; filtro Göthe.
 - XI. Precipitador térmico utilizado en el fondo de una mina.
 - XII. Montaje de una perforadora en ensayo para la medición de su producción de polvo en la perforación de roca.
-

SÍMBOLOS

En esta Guía se emplearán los siguientes símbolos :

| | |
|------------------|-------|
| centímetro | cm |
| grado centígrado | °C |
| gramo | g |
| hora | h |
| kilogramo | kg |
| kilovoltio | kV |
| litro | l |
| metro | m |
| micrón | μ |
| miligramo | mg |
| milímetro | mm |
| minuto | min |
| segundo | s |
| voltio | V |
| vatio | W |

INTRODUCCIÓN

En todos los países mineros del mundo, las neumoconiosis y la silicosis siguen constituyendo uno de los más graves y costosos problemas de higiene del trabajo con que tiene que luchar la industria, y quizás el más difícil de resolver.

Desde el punto de vista médico todavía no se ha encontrado una solución satisfactoria, ni en el aspecto profiláctico ni en el terapéutico, y aunque la labor de investigación que se está efectuando es cada vez mayor no parece que se estén haciendo nuevos descubrimientos que hayan de permitir vencer estas enfermedades profesionales dentro de poco tiempo. Habida cuenta de los conocimientos actuales, no cabe duda de que los métodos más eficaces de lucha contra las neumoconiosis son todavía aquellos con los que se trata de evitar la formación de polvo en las distintas operaciones mineras o de eliminar el producido en el punto mismo en que se lo produce o lo más cerca posible de él.

En los países que primero comprendieron el peligro que para la salud de los trabajadores representa el polvo en suspensión en el aire y empezaron a tomar medidas de prevención y a exigir los reconocimientos médicos periódicos, promulgando para ello las adecuadas leyes, y que estableciendo la indemnización obligatoria a los mineros que contraen la silicosis han incitado a aplicar estrictamente esas medidas, las estadísticas demuestran sin dejar lugar a dudas que la situación ha mejorado considerablemente, tanto en lo que se refiere a la salud de los trabajadores del fondo como a las condiciones de trabajo en las minas.

Pero hay muchos países donde la protección de orden técnico contra el polvo aún está en sus comienzos, y no se debe olvidar que los resultados no serán visibles mientras no transcurra cierto tiempo y siempre y cuando se haga un esfuerzo sistemático y continuo. Prueba de ello es, por ejemplo, el caso de las minas de metal de un país europeo, en donde eran corrientes los casos graves de silicosis y donde hacia 1935 se emprendió una gran campaña

contra el polvo; la encuesta realizada veinte años más tarde en esa misma región demostró que los casos graves de silicosis prácticamente habían desaparecido y que la esperanza de vida media de los mineros había aumentado en 30 por ciento, aproximadamente, en esos veinte años.

La efectiva desaparición de este grave peligro que las neumoconiosis representan para la salud de los trabajadores depende de todas y cada una de las personas vinculadas con la industria minera por una u otra razón. Tanto la dirección de las empresas como el personal dirigente del trabajo del fondo, tanto los trabajadores de los frentes de arranque como todos los demás obreros del fondo de la mina, y tanto los fabricantes de maquinaria y equipo mineros como los distribuidores tienen cada uno de ellos un papel que desempeñar en la solución de este problema. Si no existe una comprensión general de las causas a que se debe la existencia de polvo en suspensión en el aire, de los peligros que puede entrañar y de los medios que se deben emplear para combatirlo o suprimirlo será difícil luchar eficazmente contra las neumoconiosis, y hasta se puede afirmar que el grado de comprensión a que en esto se haya llegado dará la medida de los progresos que se han hecho.

Por consiguiente, cabe decir, en resumidas cuentas, que sean cuales fueren las diferencias de opinión acerca del mayor o menor riesgo que entraña el polvo o de la naturaleza de las enfermedades que produce, hay algo de lo que no se puede dudar, y ello es que hay que evitar la existencia de polvo en suspensión en el aire.

El objeto de la presente guía es indicar las operaciones efectuadas en las minas, los túneles y las canteras que muy probablemente darán por resultado la existencia de ese polvo en suspensión y diversas maneras de determinar el grado de concentración del polvo y reducirlo, y hasta de eliminar el polvo por completo. Las medidas técnicas de prevención y supresión del polvo que en esta guía se describen son aplicadas en muchos países mineros y muy distintos tipos de minas. Cabe señalar que en los sistemas generales de lucha contra el polvo habrá que introducir las modificaciones necesarias según la clase de minas en que se los aplique y según el método de explotación. Por otra parte, la cantidad de polvo que

habrá que suprimir dependerá de la composición y de las características de la roca trabajada. Finalmente, la introducción de nuevos métodos de laboreo y de maquinaria diferente lleva inevitablemente aparejada la necesidad de idear nuevos procedimientos de lucha contra el polvo.

Por estas razones, y por otras más, es imposible establecer normas concretas de aplicación universal para la supresión del polvo. No obstante, en 1952 y en 1955 se celebraron en Ginebra dos reuniones de expertos en la cuestión de la supresión del polvo en las minas, los túneles y las canteras, convocadas por la Oficina Internacional del Trabajo, para las cuales se reunió una abundante documentación y en las que se formuló un gran número de recomendaciones. Se consideró después que convendría presentar todo ese material, ampliando las informaciones que fuere necesario ampliar, dándole la forma de una guía que pudiera ser de utilidad para las grandes empresas mineras ya hace largo tiempo establecidas en diferentes países y también para las pequeñas empresas de todas partes del mundo, a las cuales la guía daría muchos detalles acerca de los principios que hay que seguir para la supresión del polvo en el fondo de las minas y de los métodos con que se lo debe combatir.

Aunque muchos de los procedimientos de lucha contra el polvo que en esta guía se describen son conocidos y corrientemente utilizados en muchos países y en las grandes empresas mineras, cabe esperar que su publicación y su amplia difusión habrá de dar resultados fructíferos y que todos aquellos que la lean se darán perfecta cuenta de que es posible evitar la excesiva concentración del polvo en las minas y reducir la frecuencia de las neumoconiosis por los medios descritos. Quienes deseen estudiar más a fondo algún aspecto de la cuestión hallarán listas de publicaciones al respecto en los informes internacionales sobre la supresión del polvo en las minas de carbón publicados por la O.I.T.¹

¹ O.I.T.: *The Prevention and Suppression of Dust in Mining, Tunnelling and Quarrying: First International Report, 1952-1954* (Ginebra, 1957), págs. 316-374; *Second International Report, 1955-1957* (Ginebra, 1961), págs. 460-494.

La Oficina agradece la ayuda que le ha sido prestada para la preparación de esta guía, en la cual se han utilizado ampliamente la información técnica y las demás clases de datos facilitados por todos los Estados Miembros representados en la primera reunión de expertos sobre la prevención y la supresión del polvo en las minas, los túneles y las canteras, cuyos expertos presentaron monografías a la reunión, así como la información más reciente facilitada para la preparación de los informes internacionales anteriormente mencionados. La Oficina agradece asimismo las muchas publicaciones técnicas enviadas por Estados Miembros junto con sus propios informes y la valiosa ayuda recibida de la Oficina Nacional del Carbón y del Ministerio de la Energía del Reino Unido en lo relativo a ciertos aspectos de la lucha contra el polvo en las minas de carbón.

CAPÍTULO PRIMERO

EL POLVO Y SUS EFECTOS PATOLÓGICOS

Dondequiera que se lo halle, el polvo causa molestias. Reduce la visibilidad, incomoda, produce con frecuencia irritaciones y puede además estropear mucho las máquinas y el equipo mecánico. Pero hay ciertas clases de polvo que son mucho más que una simple molestia. Por ejemplo, el polvo de carbón mezclado con el aire es explosivo, y por esto se han producido a veces grandes desastres en los que han perdido la vida millares de mineros. Otras clases de polvo pueden ser tóxicas o radiactivas, y hay muchas de ellas que inhaladas en cierta cantidad durante cierto tiempo producen las enfermedades pulmonares denominadas neumoconiosis. En esta guía se hablará principalmente de estas últimas clases de polvo, aunque en términos generales puede decirse que las medidas con que se combate el polvo que origina enfermedades pulmonares son a la vez medidas con las que se pueden combatir las demás clases de polvo que por cualquiera de las demás razones mencionadas constituyen un peligro.

Las enfermedades pulmonares producidas por el polvo constituyen uno de los más antiguos grupos de enfermedades profesionales. Si bien no se puede afirmar que los hombres del período paleolítico que tallaban los instrumentos de pedernal sufrieran de afecciones debidas a la inhalación de partículas de sílice, en las momias egipcias del segundo o del tercer milenios antes de Jesucristo se han descubierto signos de estas enfermedades. En el siglo XVI hallamos en el médico alemán Agrícola referencias a las enfermedades producidas por el polvo, y volvemos a hallarlas en los siglos XVIII y XIX, hasta nuestros días.

No obstante, la importancia de las neumoconiosis como enfer-

medades profesionales no fué reconocida en la legislación hasta el siglo actual. El primer país que advirtió el peligro fué, probablemente, la Unión Sudafricana, donde al iniciarse la extracción del oro en el Witwatersrand, a fines del siglo pasado, se hicieron amplias investigaciones acerca de los riesgos que corría la salud de los mineros, y en 1912 se adoptaron disposiciones legislativas sobre las condiciones de trabajo y sobre medidas de reparación. Otros países, el uno tras el otro, fueron siguiendo igual camino. En los últimos años adelantaron mucho los conocimientos acerca de las enfermedades pulmonares y de los métodos para combatir el polvo en las minas, los túneles y las canteras, pero es mucho lo que los médicos ignoran todavía, no sólo en cuanto a la patogenia de las neumoconiosis, sino también a su profilaxis y su terapéutica, y lo cierto es que el método para eliminar el riesgo de las neumoconiosis que actualmente promete mejores resultados es el de eliminar el polvo de la atmósfera, evitando en primer término que las partículas, al desprenderse, queden en suspensión en el aire.

LAS PARTÍCULAS DE POLVO EN SUSPENSIÓN EN EL AIRE

En el sentido corriente y general de la palabra, polvo son las minúsculas partículas sólidas que por diversas causas se pueden desprender y quedar suspendidas en la atmósfera como formando nubes. Siempre existe en el aire cierta cantidad de polvo, aunque por lo general no se lo vea. Las grandes nubes de polvo son conocidas sobre todo por los habitantes de las regiones más secas y desérticas del mundo, donde son bastante corrientes, por ejemplo, las tormentas de arena. Son tantas y tan grandes las partículas que las forman que se las distingue a simple vista, y reducen la visibilidad o hasta obscurecen el aire.

Hay muchas actividades industriales, como la minería, la explotación de canteras o la excavación de túneles, que dan por resultado esta suspensión de partículas en el aire. Muchas de estas partículas son tan pequeñas que no se las puede ver a simple vista, y se las mide en milésimas de milímetro, o micrones (véase la lámina I).

Así, pues, las nubes de polvo, constituídas por partículas sólidas que se dispersan en un medio gaseoso, generalmente de resultas de la desintegración mecánica de un cuerpo, se forman de ordinario cuando se realizan operaciones de trituración, molienda o perforación en las minas, cuando se vuelan minerales por medio de explosivos y cuando se manejan o transportan rocas. Por lo tanto, puede decirse que casi todas las operaciones que se efectúan en las minas entrañan la producción y la dispersión de polvo.

Las partículas así desprendidas son en su mayor parte de forma irregular, y se las puede hallar aisladas o aglomeradas. Sus minúsculas dimensiones las hacen más activas, tanto química como físicamente, ya que a masas iguales es mayor la superficie expuesta. Esta circunstancia influye en gran medida en las propiedades neumoconióticas de algunas de ellas. Al mismo tiempo, su comportamiento bajo la fuerza de la gravedad y la aceleración, en un campo eléctrico o en los cambios de temperatura presenta particularidades que se aprovechan para separarlas y filtrarlas, así como en la toma de muestras de aire.

Las neumoconiosis

Se entiende actualmente por « neumoconiosis » todas las alteraciones pulmonares producidas por la inhalación de polvo.

Para que se comprenda cómo afecta a los pulmones la inhalación de aire cargado de polvo y la clase de partículas contra las que es preciso protegerse, conviene explicar brevemente de qué manera llega el polvo a los pulmones.

Tras haber pasado por la nariz y la garganta, el aire que inhalamos llega a la tráquea, conducto que en su parte inferior se divide en dos ramas principales, cada una de las cuales termina en uno de nuestros pulmones. Los pulmones están divididos en lóbulos, de los cuales el pulmón izquierdo tiene dos y el pulmón derecho tres, constituídos por un gran número de pequeños alvéolos o células aéreas, en cada uno de los cuales termina una de las ramificaciones del árbol respiratorio (bronquios y bronquiolos). Los alvéolos pulmonares están rodeados de capilares arteriales y venosos y de vasos linfáticos.

Todas y cada una de las partes del aparato respiratorio poseen un sistema de defensa que debe retener las partículas de polvo que se inhalan. Las partículas gruesas (de más de 10 micrones) suelen quedar retenidas en los conductos nasales o en la garganta. Algunas de las que pasan de la nariz y la garganta quedan retenidas en la secreción mucosa de la tráquea y de los bronquios. Esta mucosidad, con las partículas retenidas, está continuamente empujada hacia arriba por una multitud de filamentos o cilios vibrátiles que la hacen avanzar a la velocidad de poco más de 1 cm por minuto hasta que es expulsada de la tráquea. Las partículas más pequeñas (la mayor parte de ellas de menos de 5 micrones) pueden llegar a los alvéolos pulmonares, donde el mecanismo de defensa está constituido por fagocitos móviles, que son células que tienen la propiedad de absorber los cuerpos extraños y que una vez cargadas de partículas pasan a los bronquios, de donde son expulsadas por los cilios. Pero hay partículas que pueden atravesar las paredes de los alvéolos y quedar en el tejido pulmonar, si no son absorbidas por los fagocitos, que en este caso pasan al sistema linfático y llegan a los ganglios linfáticos, que funcionan como filtros y retienen una considerable cantidad de polvo. En el tejido donde se ha alojado el polvo, y según la naturaleza y la cantidad de este último, se producen reacciones fibróticas. Por último, muchas de las partículas inhaladas permanecen en suspensión en el aire que ha entrado en los pulmones y se las expelen en la espiración.

Hoy es sabido que la sílice libre es la más peligrosa de las materias que entran en la composición del polvo nocivo y una de las causas más importantes de las afecciones pulmonares debidas a la inhalación de polvo, pero aún no se sabe exactamente la forma en que actúa, que sigue siendo objeto de conjeturas. Hay muchas teorías al respecto. Una de ellas es la de que la afección pulmonar está causada por el ácido silícico formado por disolución de la sílice en los humores que existen en los tejidos. Según una de las teorías recientes, la silicosis es el resultado de una reacción inmunológica en que la precipitación de las proteínas en el tejido pulmonar se traduce en la formación de nódulos silicóticos.

Partículas peligrosas

Está generalmente admitido que la causa de las neumoconiosis son las partículas de menos de 5 micrones. Esta opinión está corroborada por los resultados de un gran número de exámenes *post mortem* de pulmones, y hay algunas razones para pensar que las partículas más peligrosas son las de entre 1 y 2 micrones de tamaño (véase la figura 1).

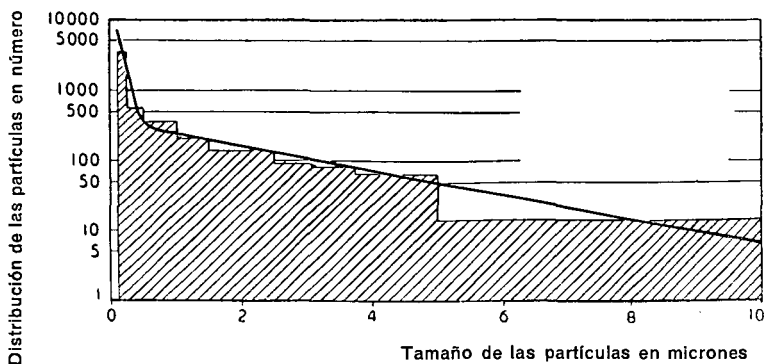


FIG. 1. — Curva granulométrica tipo del polvo de carbón en suspensión en el aire.

(Frente de talla explotado a mano; martillos picadores; inyección de agua en la capa; turno de trabajo de carga del carbón; lugar de toma de la muestra: a 9 m del frente en la corriente de aire de retorno.)

Se observará que el logaritmo del número de partículas por intervalo unitario correlacionado con el tamaño de las partículas representa una línea recta entre 0,5 y 10 μ . La parte de la curva de gran inclinación por debajo de 0,5 μ se puede deber a la normal contaminación de la atmósfera.

Una de las formas más graves de neumoconiosis es la silicosis, enfermedad producida por los minerales que contienen sílice libre y cuyas manifestaciones son la disnea y la paulatina disminución de la capacidad de trabajo, hasta llegar a la completa incapacidad. Además, la silicosis acentúa la predisposición a la tuberculosis.

El peligro que para la salud entraña el polvo en las minas de carbón está perfectamente comprobado. Las causas de la enfer-

medad pulmonar llamada a veces « neumoconiosis de los mineros » o « antracosilicosis » todavía no se han determinado exactamente, pero la naturaleza de esta afección producida por la inhalación de polvo de carbón es bien conocida. En las minas de antracita la neumoconiosis es generalmente más frecuente que en las minas de carbón bituminoso. Además, los trabajadores de las minas de carbón no sólo están expuestos al polvo del carbón mismo, sino que muchas veces también están expuestos al que se desprende de la roca al abrir galerías o al cortar las intercalaciones de roca estéril o las capas de roca que recubren el carbón o están debajo de él. Así, pues, una gran parte del polvo inhalado contendrá cierta proporción de sílice, lo cual agrava la situación y produce entre las víctimas una incapacidad todavía mayor.

Uno de los minerales cuyo polvo es más peligroso para los pulmones es el asbesto. La asbestosis, nombre específico de la variedad de neumoconiosis debida a este mineral, es una enfermedad crónica parecida a la silicosis en algunos aspectos.

También es peligroso (si bien lo es menos que el de las sustancias anteriormente mencionadas) el polvo del feldespato, de la mica, del esquistó, del caolín, del talco, de la silimanita y del cemento. Las descripciones de sus efectos son más bien confusas, debido probablemente a la sílice libre que en mayor o menor cantidad se encuentra en él, y muchas veces no se sabe a ciencia cierta si los síntomas de neumoconiosis que se observan en trabajadores que han estado manejando estos minerales se deben a los silicatos de que están compuestos o a las concentraciones más pequeñas de sílice libre a menudo presentes.

Igualmente se ha comprobado que ciertas clases de polvo no silíceo producen afecciones pulmonares parecidas a las neumoconiosis. Se trata especialmente del polvo de las siguientes sustancias: óxido de hierro (que produce la siderosis), manganeso, óxido de titanio (que produce la titaniosis), aluminio y óxido de aluminio o alúmina.

La cuestión de los factores causantes de las distintas formas de neumoconiosis observadas es una de las más discutidas de la medicina del trabajo, pero no cabe duda de que el polvo de cual-

quier clase que sea, inhalado durante cierto período, constituye un peligro para la salud, peligro cuya gravedad depende de la naturaleza, la concentración y las propiedades físicas del polvo que se inhale. Un breve estudio de las estadísticas elaboradas en la mayor parte de los países mineros puede dar una idea de la frecuencia de las neumoconiosis debidas a una u otra clase de polvo o a una u otra combinación de polvo de diferentes clases. Esta guía tratará del peligro que entrañan todas las clases de polvo que se producen en las operaciones que se efectúan en las minas, los túneles y las canteras, y en ella se indicarán algunos procedimientos para evitar su formación o reducir la cantidad de polvo en suspensión en el aire que respiran los mineros y los trabajadores en general.

INCIDENCIA DE LAS NEUMOCONIOSIS

Hace relativamente poco tiempo que el problema de las neumoconiosis ha empezado a preocupar seriamente en algunos países, y son tan pocas las estadísticas que muestran su frecuencia en las minas de antaño que se puede decir que son prácticamente inexistentes. Las cifras que más adelante se utilizan están tomadas de las estadísticas comunicadas a la Oficina Internacional del Trabajo para la preparación de los informes internacionales sobre la prevención y la supresión del polvo en las minas, los túneles y las canteras, para dar una idea de la tasa de incidencia de las neumoconiosis, y en especial de la silicosis, durante estos últimos años en algunos de los principales países mineros.

Es muy difícil obtener estadísticas verdaderamente comparables acerca de los fallecimientos por neumoconiosis, pero a continuación se darán algunas cifras tomadas de las estadísticas de varios países mineros representativos (minas de carbón y minas metálicas) de Europa y de otros continentes.

En un grupo de cuatro países en que el número total de mineros del carbón, en un período reciente de doce meses, era en promedio de 884.798 y el de los demás trabajadores del fondo de las minas de 87.921, el número de personas a las que en ese mismo período

se pagaban indemnizaciones por neumoconiosis o en las que se había reconocido una de estas afecciones era de 119.799. Es decir, de cada siete trabajadores del fondo de las minas había uno con algún grado de incapacidad para el trabajo debida a la inhalación del polvo de la mina.

Incluso en los países en que de una u otra forma se combate sistemáticamente el polvo hay casos en que la frecuencia media de las neumoconiosis entre los trabajadores del fondo de las minas de antracita y de las minas metálicas ha llegado en los últimos años al 4 o al 5 por mil anual. En uno de los casos, en un período reciente de diez años se pagaron indemnizaciones por 8.578 accidentes del trabajo mortales en la industria minera, mientras que en el mismo período se pagaron indemnizaciones por 16.325 casos mortales de silicosis, esto es, casi el doble.

Si se analizan con más detenimiento los datos publicados se advierte que se han registrado casos de neumoconiosis en otras ramas de actividad, como la cerámica, la extracción de la piedra y de la arcilla y la construcción, pero que entre el 66 y el 80 por ciento del total de los casos se han registrado en empresas mineras de diversas clases. Algunos países han transmitido estadísticas sobre los trabajos en túneles y canteras que indican que en estas ocupaciones se registran también muchos casos de neumoconiosis.

En el pasado, antes de que pudiera afirmarse que se aplicaban medidas eficaces para combatir el polvo, la lucha contra las neumoconiosis en las minas siempre pasó por varias etapas, que generalmente fueron las siguientes: un período inicial durante el cual se explotaban las minas sin que nadie se diese verdadera cuenta de que el polvo era peligroso para la salud o comprendiese hasta qué punto lo era; un segundo período en que se iba comprendiendo poco a poco el riesgo que entrañaba el polvo y se hacían algunos intentos para introducir sencillas medidas a fin de combatirlo, y por lo general un tercer período en que se promulgaban leyes acerca de los métodos de prevención del polvo y de las indemnizaciones por enfermedad, que conducía a la adopción por parte de las empresas mineras de métodos de prevención y supresión del polvo, a la fijación de una máxima concentración admisible de polvo en

suspensión, a la toma periódica de muestras y al control de todas las operaciones en las que se produce polvo.

El conocimiento actual del peligro que entraña la existencia de polvo en suspensión en el aire y la experiencia adquirida en la aplicación de métodos para su supresión deberían permitir eliminar el riesgo desde el momento mismo en que se inician las operaciones, sin pasar por el largo período preliminar por el que hasta ahora se ha pasado siempre antes de tomar medidas eficaces, en toda mina o cuenca minera que se empiece a explotar.

DETERMINACIÓN DEL RIESGO CONIÓTICO

Desde el punto de vista puramente práctico, todas las clases de polvo producidas en las operaciones que se efectúan en las minas, los túneles y las canteras deberían ser consideradas un peligro potencial para la salud.

Para determinar la importancia de este peligro a fin de eliminarlo, es preciso estudiar la mina o la operación de que se trate, con objeto de medir la cantidad de polvo que se produce y de conocer la naturaleza de las partículas que se desprenden. Para ello habrá que estudiar las propiedades físicas y químicas de esas partículas, la probable concentración del polvo y el tiempo durante el cual habrán de estar expuestos los trabajadores a su acción. Si este estudio preliminar de las condiciones de higiene indica que la situación es peligrosa habrá que hacer estudios técnicos acerca de la producción de polvo en todas y cada una de las operaciones que se efectúan (en una mina habrán de estudiarse todas las fases de la explotación, desde las primeras excavaciones hasta el tratamiento final de los minerales). Una vez determinadas de este modo cuáles son las operaciones peligrosas debido al polvo que se produce al efectuarlas, habrá que mantener un sistema de verificaciones regulares para asegurarse de la aplicación efectiva y de la eficacia de los métodos de defensa elegidos.

A fin de reunir los datos necesarios para hacer estos estudios conviene establecer un sistema de tomas de muestras que permita apreciar la cantidad y la naturaleza del polvo inhalado por los

trabajadores y retenido en el aparato respiratorio durante un período de trabajo cualquiera, o en términos más generales evaluar el riesgo coniótico a que un trabajador o un grupo de trabajadores se halla expuesto durante determinado período de trabajo o determinada operación. Entre los datos que se habrán de obtener podrán estar el grado de concentración del polvo (número de partículas o peso de las partículas por unidad de volumen), las dimensiones de las partículas, su forma y todas sus demás características (por ejemplo, su superficie). Los instrumentos utilizados deben recoger el polvo con la « selectividad » más parecida posible a la del pulmón humano y permitir obtener una serie de resultados suficientemente significativos desde el punto de vista estadístico para que se pueda determinar con precisión el riesgo coniótico. En el capítulo dedicado al control de la atmósfera se hablará de los problemas que hay que resolver para obtener estos resultados.

CONCENTRACIONES PERMISIBLES

Es muy difícil determinar exactamente la composición y los efectos patológicos del polvo en suspensión en el aire, y por lo tanto es también sumamente difícil fijar exactamente la máxima concentración de polvo en suspensión que se puede tolerar sin que constituya un peligro para el ser humano. Basándose en una larga experiencia, varios países han establecido y recomendado ciertas normas que, sin embargo, no pueden ser aceptadas como criterios de aplicación universal debido a las modificaciones que habría a veces que hacer debido, por ejemplo, al método seguido para la toma de muestras, a la composición del polvo o a las dimensiones mínimas y máximas de las partículas tomadas en consideración. No obstante, a pesar del carácter empírico y de las limitaciones de las normas adoptadas por diferentes países, se ha comprobado que estas normas constituyen útiles orientaciones prácticas para el logro del objetivo final, que es el de eliminar completamente el peligro que el polvo representa para la salud de los trabajadores.

He aquí las normas adoptadas en algunos países.

Australia.

En las minas de carbón de Nueva Gales del Sur se considera peligrosa toda concentración media de partículas de menos de 5 micrones superior a las indicadas en el cuadro que se incluye a continuación, habida cuenta del contenido en sílice del polvo.

| Contenido en sílice libre de la roca de que procede el polvo (incluidos el carbón y los esquistos bituminosos) | Concentración media de la que no se debe pasar (número de par- ticulas de menos de 5 micrones por cm ³) |
|--|---|
| Hasta 10 por ciento | 700 |
| De 10 a 20 por ciento | 600 |
| De 20 a 30 por ciento | 500 |
| De 30 a 40 por ciento | 400 |
| De 40 a 50 por ciento | 300 |
| Más de 50 por ciento | 200 |

Canadá.

En Quebec, donde el instrumento que se emplea para la toma de muestras es el midget-impinger, las concentraciones máximas admisibles son las que a continuación se indican.

| Composición del polvo | Millones de partículas por pie cúbico ¹ |
|---|--|
| Más de 40 por ciento de sílice | 5 |
| De 5 a 40 por ciento de sílice | 10 |
| Menos de 5 por ciento de sílice | 50 |
| Asbestos | 10 |

¹ Un millón de partículas por pie cúbico equivale a 35 partículas por centímetro cúbico.

Estados Unidos.

La Conferencia Norteamericana de Higienistas del Estado¹ ha establecido los siguientes valores umbrales²:

| Composición del polvo | Millones de partículas por pie cúbico |
|---|---------------------------------------|
| Más de 50 por ciento de sílice | 5 |
| Entre 5 y 50 por ciento de sílice | 20 |
| Menos de 5 por ciento de sílice | 50 |
| Asbestos | 10 |

Polonia.

Las normas vigentes en las minas de carbón de Polonia son las indicadas a continuación.

| Porcentaje de roca en el frente | Porcentaje de carbón en el frente | Número máximo de partículas de 0,5 a 5 micrones por cm ³ de aire |
|---------------------------------|-----------------------------------|---|
| 100-70 | 0-30 | 500 |
| 70-50 | 30-50 | 850 |
| 50-10 | 50-90 | 1.200 |
| 10-0 | 90-100 | 1.500 |

Los lugares de trabajo están clasificados en dos categorías, que corresponden a los frentes de carbón y a los frentes de roca. En los casos dudosos se analizan muestras de polvo. El polvo se clasifica,

¹ American Conference of Government Industrial Hygienists.

² Los valores umbrales son valores de concentración media ponderados en el tiempo, mientras que las concentraciones máximas permisibles son los límites por debajo de los cuales deben hallarse todos los resultados de las mediciones.

con arreglo a los valores dados en el cuadro anterior, según su contenido en substancias incombustibles estables. Si el análisis de las muestras indica la presencia de sílice, las concentraciones máximas permisibles son las que se señalan a continuación.

| Porcentaje de sílice que contiene el polvo | Número máximo de partículas de 0,5 a 5 micrones por cm ³ de aire |
|--|---|
| 25 | 500 |
| 15-20 | 850 |
| 5-15 | 1.200 |
| 5 | 1.500 |

Los instrumentos utilizados para la toma de muestras deben ser ensayados en la mina experimental de Barbara, en la que se los calibra.

Reino Unido.

Las condiciones se consideran satisfactorias si se ajustan a las normas establecidas en materia de concentraciones máximas permisibles, que son las indicadas en el cuadro siguiente.

| Naturaleza del polvo | Número máximo de partículas por cm ³ |
|---|---|
| 1) Polvo de carbón en las minas de antracita | 650 partículas de 1 a 5 micrones |
| 2) Polvo de carbón en las demás minas de carbón | 850 partículas de 1 a 5 micrones |
| 3) Polvo producido en galerías de roca y galerías de avance de roca dura en todas las minas | 450 partículas de 0,5 a 5 micrones |

Actualmente se está ensayando un sistema según el cual podrán aprobarse los lugares de trabajo en que no se pase de la concentración máxima permisible en más de un turno de trabajo de cada diez.

Por ejemplo, si la concentración máxima permisible es de 850 partículas por centímetro cúbico, este sistema se aplicaría de la manera siguiente.

Las condiciones se considerarán satisfactorias:

1) si la concentración media de partículas de 1 a 5 micrones en el curso de un turno de trabajo es inferior a 450 partículas por centímetro cúbico (350 en las minas de antracita), o

2) si la concentración media de partículas de 1 a 5 micrones en cada una de dos visitas de control del frente sucesivas es inferior a 700 partículas por centímetro cúbico (525 en las minas de antracita).

Las condiciones no se considerarán satisfactorias:

1) si la concentración media de partículas en el curso de un turno de trabajo es superior a 850 partículas por centímetro cúbico (650 en las minas de antracita), o

2) si la concentración media de partículas en cada una de dos visitas de control sucesivas es superior a 700 partículas por centímetro cúbico (525 en las minas de antracita).

PROCEDIMIENTOS PARA EVITAR LAS CONCENTRACIONES DE POLVO PELIGROSAS

Durante muchos años, a los ingenieros, a los hombres de ciencia y a otras personas les ha preocupado considerablemente el problema de la lucha contra el polvo: cómo evitar la formación de concentraciones de polvo peligrosas, cómo suprimir el polvo cuya formación no se puede evitar y cómo extraer de la mina el que no se puede suprimir. Lo primero que hay que hacer para evitar que el aire se cargue de polvo es realizar las operaciones que se efectúan en las minas, los túneles y las canteras de manera que se produzca la menor cantidad de polvo posible. Si bien se ha adelantado mucho en esto, el polvo en suspensión en el aire sigue siendo en muchos casos excesivo, y las empresas se ven obligadas a tomar medidas positivas de prevención y supresión del polvo.

Para estos efectos, el primer procedimiento consiste en emplear agua en abundancia, a fin de que el polvo que se produce en cualquier operación se aglomere y quede retenido en el agua, de manera que no pueda pasar al aire. El agua tiene muchas aplicaciones: infusión de los frentes de carbón; humedecimiento de las rocas sueltas; riego de las superficies de las que se puede desprender polvo como resultado de las voladuras, del vuelco de materiales o de cualquier otra operación en que hayan de manejarse rocas; aglomeración del polvo en los aparatos colectores o los filtros, etc. Sin embargo, el agua por sí sola no siempre basta para resolver el problema, y es preciso asegurar una buena ventilación. Además, hay algunos casos (por ejemplo, en las minas donde el calor es muy fuerte o en ciertas condiciones de estratificación) en que se tiene que restringir el empleo del agua, y las condiciones de ventilación deben entonces ser todavía mejores. Todos los lugares de trabajo deben recibir aire puro suficiente para reducir el grado de concentración del polvo en la atmósfera y arrastrarlo. Además de la ventilación principal se utiliza una ventilación secundaria para eliminar el polvo producido por diversas máquinas, tales como los basculadores de vagonetas y las trituradoras, o bien para limpiar los lugares que la corriente general de ventilación no limpia convenientemente. Por último, se emplea una mezcla de aire y agua en forma de neblina para precipitar el polvo que se encuentra en suspensión en el aire o hacer que se concentren en las capas inferiores los humos producidos por la pega de barrenos. Así, pues, toda la labor de supresión del polvo se basa en dos elementos complementarios: el agua y la ventilación.

Aparte del aire y del agua, poco más se necesita para combatir el polvo. Para consolidar el polvo depositado en las galerías se emplean sales higroscópicas o agentes humectantes, y estos últimos también se agregan a veces al agua empleada para combatir el polvo. Por último, para evitar las explosiones del polvo de carbón se utilizan polvos inertes, mas ésta es cuestión que está fuera del tema de esta guía.

Pero si para combatir el polvo no se necesitan muchos agentes físicos o químicos, sí se necesitan, en cambio, gran diversidad

de aparatos y de instrumentos: instalaciones de aireación (ventiladores, conductos de aire y aparatos de control), rociadores y nebulizadores de agua de muy distintas clases, tubos de infusión, instalaciones de aspiración de aire, instrumentos para la toma de muestras, microscopios y contadores, aparatos de filtración y de extracción, equipo de laboratorio para análisis, etc.

Además, no basta con que la empresa que explota la mina o la cantera o perfora el túnel disponga de los materiales, los aparatos y los instrumentos necesarios para combatir el polvo, sino que también debe contar con hombres que sepan utilizarlos como es debido, esto es, a todos los cuales se les haya enseñado convenientemente para qué sirven esos aparatos y cómo funcionan. Por otra parte, hay que mantener el equipo en buen estado de funcionamiento, para lo cual es preciso establecer y aplicar un sistema adecuado de vigilancia del personal y de inspección y conservación del equipo.

Y aún no basta con esto. La experiencia ha demostrado que todos los empleados de una empresa minera, de extracción de piedra o de perforación de túneles deben comprender perfectamente el peligro que entraña el polvo y lo que cada uno de ellos puede hacer para eliminarlo, y que hay que hacer todo lo posible para lograr que todos colaboren con empeño en la tarea. Únicamente cuando se combinan los recursos adecuados, una buena tecnología y la buena voluntad general en un esfuerzo continuo y decidido se obtienen los mejores resultados.

En los próximos capítulos se hablará de estas diversas armas empleadas en la lucha contra el polvo: agentes físicos y químicos, equipo, métodos y personal.

Hay quienes afirman que estas medidas técnicas de protección contra el polvo son inadecuadas e ineficaces. Es preciso recordar que en muchos países mineros sólo hace unos años que se ha iniciado una enérgica campaña para la supresión del polvo. Los resultados no siempre son inmediatamente visibles. Puede citarse el caso de cierto distrito de minas de metal, en el cual, a consecuencia de las operaciones mineras que se habían efectuado en un terreno muy rico en cuarzo, gran parte de los mineros contrajeron

una neumoconiosis grave. En los años 1934 y 1935 se inició una gran campaña para la supresión del polvo. No se advirtieron resultados inmediatos, pero veinte años después la esperanza media de vida de los mineros de la región había aumentado considerablemente y las neumoconiosis casi habían desaparecido. La aplicación de los conocimientos y los métodos actuales en la lucha contra el polvo debería permitir, en el futuro, asegurar estas satisfactorias condiciones en toda clase de minas desde el momento mismo en que se inician las operaciones.

CAPÍTULO II

EL AGUA EN LAS MINAS

Una de las primeras referencias al empleo del agua para la prevención de las enfermedades debidas a la inhalación de polvo la hallamos en el año 1713, en relación con la concesión de una patente en Inglaterra para la aplicación de un método de trabajo en húmedo del pedernal. Más tarde, y hasta principios de este siglo, se hicieron diferentes observaciones e investigaciones. Luego, en la explotación de los yacimientos de oro del Transvaal, en África del Sur, se pusieron de manifiesto con sobrada claridad los peligros que entrañaba el trabajo en las formaciones silíceas y por primera vez se hizo legislativamente obligatoria la utilización del agua en todas las explotaciones mineras.

El agua puede ser utilizada para combatir el polvo en la mayor parte de las operaciones que se efectúan en las minas. Se la puede utilizar en las operaciones de perforación, de voladura (pega de barrenos), de carga y de traslado de rocas y minerales, y también en la mayor parte de las operaciones de fracturación y trituración que se realizan en las plantas de beneficio y en las instalaciones de preparación. Para obtener los mejores resultados posibles es absolutamente necesario que se disponga constantemente de agua a suficiente presión en todos los lugares de la mina donde haya que utilizarla. Por lo tanto, en todas las minas donde se trata de combatir el polvo eficazmente, con arreglo a los reglamentos sobre la prevención de las neumoconiosis, debe existir una red de distribución de agua detenidamente estudiada y cuidadosamente instalada, cuyo buen funcionamiento debe ser asegurado.

FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

El agua que se emplea en la mina se puede obtener de diversas maneras. Se puede utilizar el agua de la red de suministro de las

autoridades locales (si existe en el lugar), el agua de superficie acumulada en depósitos o embalses adecuados, el agua que se infiltra en la propia mina o la de varias de estas fuentes. En muchos casos, cuando en la mina no entra agua suficiente para satisfacer las necesidades normales, se puede hacer recircular el agua ya utilizada tras haberla hecho pasar por los depósitos de sedimentación o las instalaciones de filtración que se describirán con brevedad más adelante. La elección de una o más de estas fuentes de abastecimiento de agua dependerá en gran medida de consideraciones de orden económico y de los sistemas de conducción y de bombeo existentes en la mina.

CALIDAD DEL AGUA

Es de primordial importancia que el agua que se utiliza para combatir el polvo sea agua limpia. Por lo tanto, no es muy indicado el uso del agua de infiltración de la propia mina, ya que contendrá en suspensión una gran cantidad del polvo que se trata de suprimir con las medidas adoptadas, y cuando esta agua pasa a través de rociadores, nebulizadores, martillos perforadores o aparatos análogos, la pulverización liberará esas finas partículas de polvo, que se convertirán en un peligro para la salud. Además, las materias extrañas en suspensión en esa agua pueden obstruir las boquillas de los rociadores, reduciendo su eficacia. Este riesgo se puede evitar empleando agua limpia de superficie, y de este modo no será necesario instalar filtros. Por otra parte, se evitará considerablemente la corrosión de las tuberías y no se obstruirán las boquillas de los rociadores.

El agua que corre libremente en una mina puede acidificarse por contacto con piritas u otros minerales, y a menos que se la someta a un tratamiento adecuado corroerá considerablemente las tuberías, los martillos perforadores y otros instrumentos en que se la utilice.

Por último, aunque el agua que se utiliza para combatir el polvo no se beba, no debería contener una cantidad excesiva de bacterias patógenas.

TRATAMIENTO DEL AGUA DE INFILTRACIÓN

En los casos en que sea necesario utilizar el agua de infiltración para combatir el polvo, se la debe bombear y acumular en depósitos convenientemente situados. Luego se la debe clarificar por sedimentación o filtración. La figura 2 representa un lecho filtrante

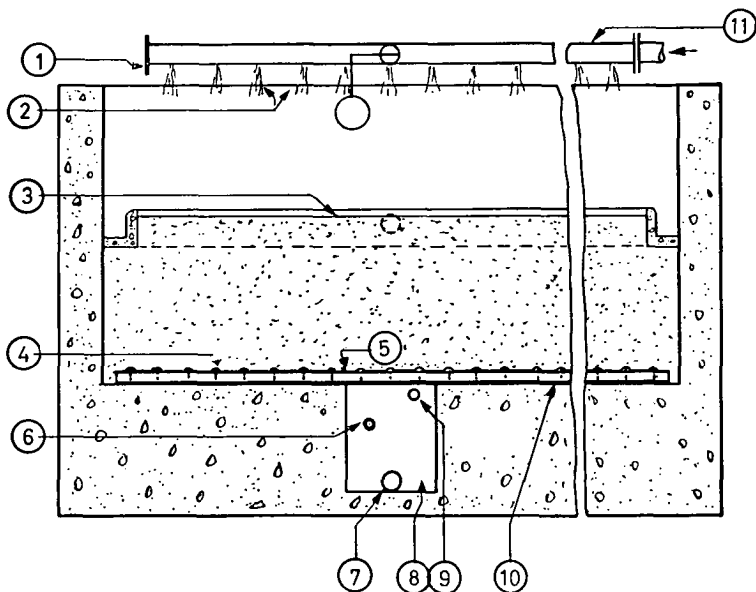


FIG. 2. — Lecho filtrante de las aguas de mina: sección longitudinal.

1: Brida de obturación. 2: Conducto de 15 cm de diámetro con ranuras de rociamiento. 3: Nivel de la arena. 4: Orificios de salida de la mezcla de agua y aire que limpia la arena. 5: Capa delgada de hormigón que recubre las tuberías, atravesada por los orificios de limpieza. 6: Conducto de aire de 7,5 cm de diámetro. 7: Boca de salida del agua filtrada (15 cm de diámetro), en la parte más baja del canal colector. 8: Canal colector de 60 cm de ancho y 90 cm de profundidad. 9: Conducto de agua de limpieza del filtro (7,5 cm de diámetro). 10: Conducto de 7,5 cm de diámetro con ranuras por las que pasa el agua filtrada al canal colector. 11: Conducto de alimentación de 20 cm de diámetro.

(El barro es expulsado por la tubería instalada en la superficie del lecho de arena.)

con una capacidad de 45.000 litros por hora, el cual se limpia haciendo pasar agua limpia con aire comprimido a través del lecho arenoso, de abajo arriba. El lodo recogido es expulsado por una tubería especial. Sea cual fuere el método de clarificación utilizado (sedimentación o filtración), se debe verificar muy cuidadosamente la pureza del agua obtenida, y para asegurarse de que se mantienen ciertas normas previamente determinadas se debe establecer un sistema de toma de muestras y de análisis. El contenido en polvo del agua empleada en la mina, determinado al microscopio con ayuda de una célula de recuento (véase el anexo 1), no debería pasar de 8 millones de partículas por centímetro cúbico, y si se la ha de beber no debe pasar de un millón y medio de partículas por centímetro cúbico, y además, como es lógico, se deben tomar muestras y se las debe analizar para comprobar su potabilidad.

También se debe verificar frecuentemente el grado de acidez del agua, y si es preciso se le deben agregar productos neutralizantes adecuados para mantenerlo dentro de ciertos límites aceptables. En la mayor parte de los casos se ha considerado satisfactorio un valor pH de 5 a 6. El agente que más se utiliza para neutralizar el agua es la cal, que suele ser barata, fácil de obtener y fácil de manejar, pero que puede encostrarse en las tuberías depositándose en ellas en gruesas capas. Cuando esto crea un problema puede haber que recurrir a otros productos o que utilizar más cantidad de agua pura procedente del exterior de la mina.

Toma de muestras

La toma de muestras del agua de la mina para determinar su acidez y su contenido en polvo debería ser cosa habitual y regular, y muy bien se la puede confiar al personal encargado de la lucha contra el polvo o de la ventilación. El trabajo es sencillo y no debería presentar grandes dificultades para ese personal.

Las muestras deberían ser tomadas en lugares que den una buena idea de las condiciones generales de la mina. De ordinario basta con una muestra tomada al azar en un momento cualquiera, aunque se pueden tomar disposiciones para el muestreo continuo

durante un largo período si se lo considera necesario. Para esto se deberían emplear botellas de vidrio transparente con tapones de goma.

La toma de muestras del agua que se bebe en la mina es más complicada. Las botellas deberían estar esterilizadas y hay que recurrir a un laboratorio para el análisis de las muestras.

Recuento de las partículas que contienen las muestras

Mediante la célula de recuento se puede determinar muy fácilmente el número de partículas peligrosas que contiene una muestra de agua. Se examina al microscopio, con iluminación sobre fondo oscuro, una parte representativa de la muestra a la cual se ha añadido un ácido y que está contenida en la célula de recuento. El número de partículas por centímetro cúbico de la muestra en sí misma se determina luego aplicando el factor multiplicador que corresponda.

También se puede determinar el número de partículas por comparación visual, utilizando alguno de los diferentes tipos de turbidímetros que se encuentran en el comercio, o bien instrumentos fotoeléctricos que se pueden calibrar para obtener directamente el contenido en polvo del agua.

CANTIDAD DE AGUA NECESARIA

La cantidad de agua necesaria para combatir el polvo depende de las circunstancias: naturaleza de la roca o del mineral, inclinación del filón o de los estratos, humedad natural, grado de mecanización, número de perforadoras y aparatos similares que se utilizan, condiciones atmosféricas, clase de instrumentos empleados para suprimir el polvo, etc. Por ejemplo, si existen instalaciones de captación del polvo en los puntos de transbordo del mineral, la cantidad de agua que se necesitará será menor, porque no habrá que instalar rociadores en esos lugares.

Por término medio, en los trabajos que se efectúan en rocas duras podrán necesitarse entre 180 y 270 litros de agua por tone-

lada de roca explotada, aunque muchas minas han comunicado cifras de bombeo que indican un consumo de agua hasta tres veces superior al que acabamos de indicar. Cabe preguntarse si este tan gran consumo no se debe a que hay un gran desperdicio y un mal control. En las minas de carbón, el empleo del agua para combatir el polvo dependerá del tipo de explotación, y también en este caso las necesidades dependerán de las circunstancias. Por ejemplo, para la roza del carbón en húmedo pueden necesitarse entre 10 y 35 litros de agua, aproximadamente, por metro de frente, y para la infusión, entre 5 y 14 litros por tonelada de carbón obtenida. También se necesitará agua para la perforación con inyección de agua, para lanzar cortinas de neblina, para los rociadores, etc.

PRESIÓN

Como es lógico, la presión a que se debe mantener el agua depende de los instrumentos que se utilicen en la mina. Por regla general, para los rociamientos y el riego se debería mantener el agua, a la salida del tubo conductor, a una presión estática de 2 kg/cm², por lo menos. La presión necesaria para los martillos perforadores dependerá del tamaño y del tipo de máquina que se utiliza, pero en la mayor parte de los casos será de entre 2 y 3,5 kg./cm².

Para mantener la presión necesaria en los lugares de trabajo es preciso instalar en la superficie uno o varios depósitos. Si la mina es tan profunda que la presión en el sistema de distribución pueda ser excesiva, se deben instalar tanques o depósitos en lugares adecuados de la mina misma. En los yacimientos de gran declividad se deben instalar de trecho en trecho pequeños depósitos o tanques de amortiguación de la presión, a fin de mantener una presión más o menos constante en todo el sistema de distribución.

El sistema que muestra la figura 3 es para la explotación de un yacimiento inclinado, en pendiente de entre 30 y 50 grados, pero el principio seguiría siendo el mismo aunque la declividad sea inferior o superior, y ya se trate de pozos verticales o de pozos inclinados. El depósito principal debería ser de suficiente capa-

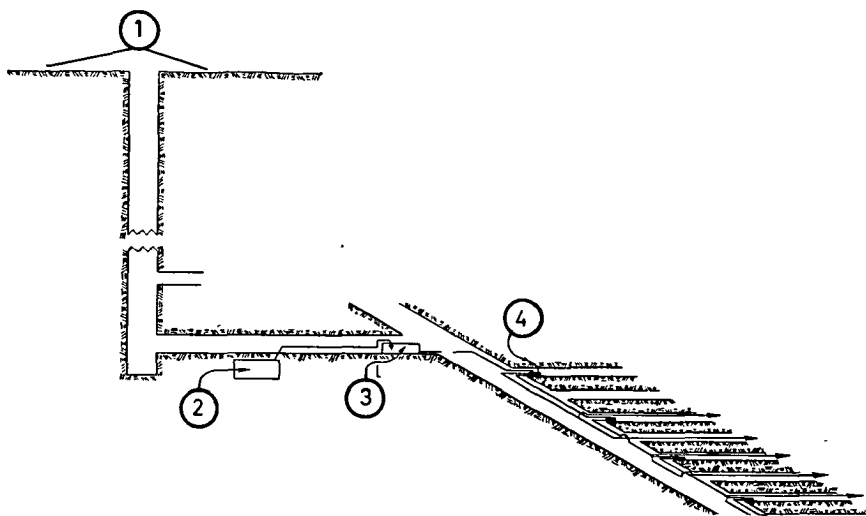


FIG. 3. — Sistema de alimentación y depósitos de agua para la explotación de un yacimiento inclinado.

1: Superficie del terreno. 2: Bombas y pozo de sedimentación. 3: Depósito principal (reserva para un día de trabajo). 4: Depósitos de amortiguación de la presión situados en uno de cada dos niveles.

A partir de cada depósito de amortiguación de la presión, el agua salta un nivel y alimenta los dos niveles siguientes y el depósito siguiente, tras haber pasado por una válvula de flotador. La caída neta de un nivel al otro es de 40 m, aproximadamente.

cidad para contener toda el agua limpia necesaria para abastecer la mina o el sector a que el agua está destinada durante un día de trabajo, por lo menos. Los depósitos secundarios amortiguadores están situados de manera que dan presión efectiva media de alrededor de $7,5 \text{ kg/cm}^2$, correspondiente a una caída neta de 80 m, y deberían tener válvulas de flotadores reguladas de modo que la entrada de agua en el depósito sea superior a la salida máxima; así será menos probable que el aire entre en el sistema de distribución y llegue a las perforadoras o a otros instrumentos, y al salir de ellos levante peligrosas nubes de polvo.

TUBERÍAS

La red de distribución de agua debe estar estudiada de manera que el diámetro de los caños sea en todas partes el adecuado, incluso en el punto de consumo más alejado, y se disponga en todas partes de agua en abundancia. El diámetro de los caños se debería determinar teniendo en cuenta las distancias a los lugares de trabajo y el máximo de trabajo que probablemente habrá de hacerse en los distintos sectores de la mina, aunque en términos generales puede decirse que el diámetro de los caños principales no debe ser de menos de 15 cm y que el de los ramales por los que se lleva el agua a los distintos frentes de trabajo no debe ser de menos de 5 cm.

En la red de distribución debería haber un número suficiente de tomas de agua para la conexión de mangueras y donde se puedan hacer acoplamientos. Las primeras pueden ser necesarias para combatir los posibles incendios (y a este propósito cabe recordar que es muy importante disponer de una reserva de agua suficiente para hacer frente a cualquier contingencia), y las segundas serán necesarias en todas las galerías de entrada y demás lugares alejados de los lugares de trabajo principales donde puede haber que hacer reparaciones u otros trabajos. Esto último a menudo no se tiene en cuenta, ya que estas tareas suelen ser de carácter temporal y no se combate el polvo que al efectuarlas se produce. Entre toma y toma debería haber alrededor de 30 m, para que no se necesiten mangueras demasiado largas.

En los últimos tiempos se han empezado a utilizar tuberías flexibles de caucho y metal para llevar el agua de los caños principales a los frentes de trabajo. Estas tuberías tienen varias ventajas: son fáciles de instalar y son más adaptables que las tuberías rígidas que habitualmente se utilizan.

BOMBAS AUXILIARES

Hay casos en que se está trabajando pendiente arriba en lugares alejados y la presión estática del agua no basta para

proporcionar la cantidad de agua necesaria para la perforación del frente. En estos casos se pueden utilizar bombas de diafragma movidas a aire comprimido, que alimentan un tanque de presión estática.

VAGONES CISTERNAS

Si por cualquier razón es imposible poner un lugar alejado de trabajo en conexión con la red principal de distribución de agua, se le puede suministrar agua a la presión deseada por medio de vagones cisternas. Uno de estos vagones puede proporcionar agua suficiente para cortos trabajos de perforación, y la presión necesaria se obtiene conectando el vagón con las instalaciones de aire comprimido. La boca de salida del agua está provista de una válvula.

Las empresas mineras pueden comprar vagones cisternas como el representado en la figura 4, o pueden construirlos ellas mismas en los talleres de las minas. Los vagones pueden ser de capacidad suficiente para la perforación de una serie completa de barrenos. Si no se dispone de aire comprimido, se pueden instalar en los vagones mismos botellas de aire comprimido, como se puede ver en la figura.

AGENTES HUMECTANTES

Se ha comprobado que el agua, cuya tensión superficial es relativamente elevada, no es particularmente buena para la humectación. Por consiguiente, se ha pensado en utilizar líquidos con una tensión superficial mucho más baja. Estos líquidos son soluciones de las substancias que producen variaciones de la tensión interfacial, detergentes o agentes humectantes.

En las publicaciones especializadas de distintos países se ha discutido mucho, y se sigue discutiendo, si conviene o no conviene utilizar estos agentes humectantes para combatir el polvo en las minas. Algunos de los institutos de investigación y ensayos que buscan procedimientos para combatir el polvo o verifican su eficacia se han declarado partidarios de su utilización, y algunos otros se han declarado en contra de ella.

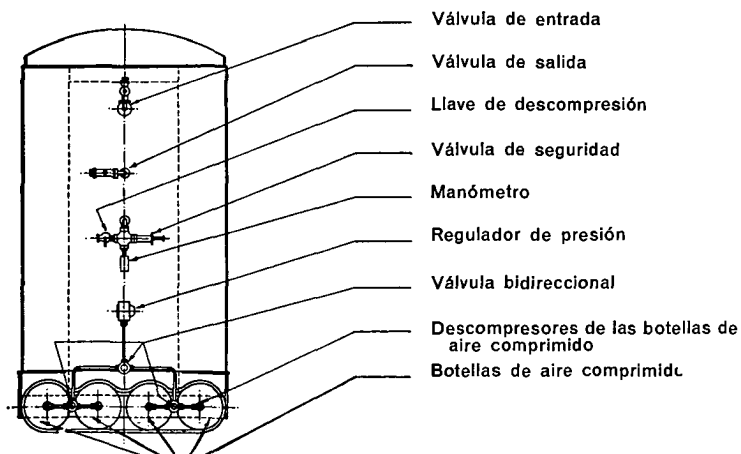
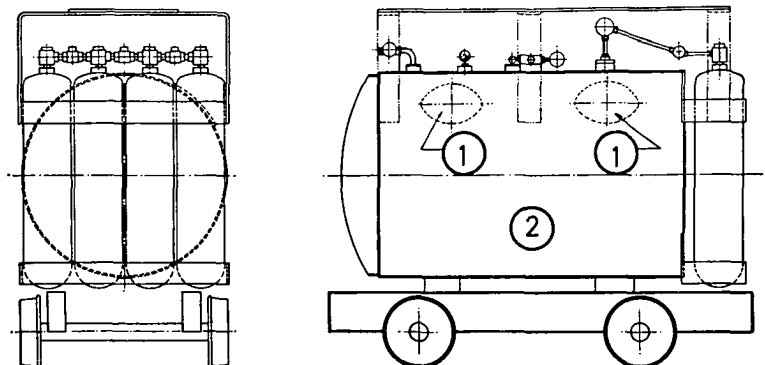


FIG. 4. — Vagón cisterna bajo presión.

1: Compuertas de inspección. 2: Cisterna.

Los agentes humectantes que hayan de ser utilizados en las minas deben poseer las siguientes propiedades:

1. No deben ser perjudiciales para el aparato respiratorio ni para la piel.
2. Su poder humectante debe ser muy superior al del agua.
3. Su costo no debe ser excesivo.
4. No deben facilitar la combustión espontánea del carbón.
5. Deben ser estables, tanto en su forma concentrada como en su forma diluída.
6. Su empleo debe facilitar la eliminación de las partículas de polvo respirables.
7. No deben dificultar ninguna de las operaciones metalúrgicas o de lavado.

Los agentes humectantes deben ser mezclados con el agua por medio de un dosificador que asegure la adecuada concentración de la solución en todas las condiciones de trabajo.

Una de las razones que se dan en contra de la utilización de los agentes humectantes son sus efectos sobre la salud de los trabajadores. Por ejemplo, se ha observado que cuando se los aplica con rociadores producen dolores de cabeza, tos y algunos otros males-tares. Por consiguiente, antes de aceptarlos para su empleo en el fondo de las minas estos productos deben ser examinados por una institución competente, como un instituto de higiene minera. Conviene especialmente asegurarse de que no atacan a la piel, aunque la mayor parte de los que están en venta son satisfactorios en lo que a esto respecta.

Estos agentes humectantes han sido sometidos a muchos ensayos, tanto en laboratorios como en las propias minas. En algunos casos se han comunicado buenos resultados, mientras que en otros se ha manifestado que el polvo se eliminaba en mayor medida utilizando solamente agua. También hay opiniones contradictorias en cuanto a la utilidad de estos agentes para la infusión en el macizo.

Hasta ahora, la experiencia no permite recomendar el empleo de los agentes humectantes para la precipitación del polvo en suspensión en el aire mediante rociamientos o nebulizaciones, ni tampoco para la infusión o para el humedecimiento del polvo producido en las operaciones de perforación, de relleno neumático u otras análogas que también pueden producir polvo. Su empleo en el futuro dependerá del resultado de las investigaciones que se están haciendo en institutos de investigación de todas partes del mundo.

No obstante, se ha comprobado que conviene utilizar agentes humectantes adecuados para la consolidación del polvo depositado en las galerías, y en muchas minas se los está utilizando con este propósito. Para esta aplicación, la propiedad característica de los agentes humectantes, que es la de reducir la tensión superficial, resulta particularmente útil. En el capítulo XI se explicará el procedimiento utilizado para la consolidación del polvo con agentes humectantes.

CAPÍTULO III

EL AGUA EN LA LUCHA CONTRA EL POLVO

Ya se ha señalado anteriormente lo importante que es el agua como medio para combatir el polvo, y en el capítulo II se ha hablado de las fuentes de aprovisionamiento y de la manera de llevar el agua a los distintos lugares del fondo en que se la necesita. También es importante darse cuenta de que se debe controlar cuidadosamente el uso que del agua se hace: no se la debe utilizar indiferentemente en cualquier parte de la mina, sino donde es más útil, y no se debería permitir su despilfarro. En algunos casos, el exceso de agua puede tener un efecto perjudicial sobre las capas de mineral, y en las minas de alta temperatura puede originar una humedad excesiva, con los consiguientes resultados desfavorables para los trabajadores. Además, el tratamiento metalúrgico de ciertos minerales puede dificultarse si el producto está demasiado húmedo. En cualquier caso, hay que hacer comprender bien a los trabajadores del fondo que es preciso utilizar el agua metódica y racionalmente. También es importante que el trabajador pueda controlar directamente y con toda precisión el volumen de agua con que está trabajando, de ser posible por medio de algún tipo de válvula a gatillo.

Existen diferentes aparatos y máquinas que permiten utilizar el agua lo mejor posible cuando se están haciendo determinadas operaciones, como las de perforación, roza, etc., de los cuales se hablará por separado en esta guía. No obstante, como el agua se puede utilizar de diferentes maneras en las diversas fases del trabajo del fondo y se necesitan muchos dispositivos de control y muchos tipos de rociadores, aparatos mezcladores, etc., en este capítulo se explicará en términos generales cómo se utiliza el agua

en la lucha contra el polvo y se describirán los tipos de aparatos necesarios.

Hay que tener presente que el agua es mucho más eficaz cuando se trata de evitar la formación de polvo que cuando se trata de lograr la precipitación del que ya está en suspensión en el aire. Ciertamente se pueden utilizar los rociamientos y las nebulizaciones para eliminar las grandes concentraciones de polvo en suspensión que se producen en muchas de las operaciones mineras, pero con estos procedimientos no se puede contar con eliminar verdaderamente del aire las partículas de menos de 10 micrones, y sobre todo las partículas respirables a que se deben las neumoconiosis. Estos procedimientos de que aquí se habla pueden ser más eficaces si se utilizan rociadores bien ideados que lancen las gotículas a las velocidades que se desean, pero hay que estudiar detenidamente su forma y sus características, su instalación y su funcionamiento.

En la utilización del agua para la supresión del polvo hay dos principios generales, que son éstos: la roca o el mineral deben ser humedecidos antes de la abrasión o la trituración; cuando no se puede evitar que el polvo que se produce al efectuar determinada operación pase a la atmósfera, el chorro de agua pulverizada que sale de la boquilla del rociador se debe lanzar lo más cerca posible del lugar mismo donde se produce el polvo.

Cabe decir que si bien en cierta época era el rociamiento el único procedimiento que se utilizaba en los frentes de arranque para suprimir el polvo, ahora se lo utiliza a menudo como un complemento de otros procedimientos. Las cifras publicadas por algunos países muestran que en los últimos años ha disminuído la longitud de los frentes tratados por rociamiento, pero no debe considerarse que esto quiere decir que se ha perdido la confianza en el procedimiento, sino como una indicación del ritmo a que se están introduciendo otros sistemas adicionales.

LOS ROCIADORES

Características generales

En los últimos años se ha estado haciendo un uso cada vez mayor de los rociadores en el fondo de las minas, para evitar la formación de polvo y para lograr la precipitación del producido en algunas operaciones. Como regla general, para estos fines sólo se deberían utilizar rociadores cuya eficacia haya sido comprobada por un centro de ensayos reconocido, como los que existen en muchos países mineros, porque ésta es la única garantía de eficacia que se puede obtener.

Para elegir el modelo adecuado de rociador se debe tener en cuenta lo siguiente:

- a) su construcción y su sencillez;
- b) la cantidad de agua que lanzan a diferentes presiones (si son rociadores de agua y aire, también el consumo de aire);
- c) la forma y el alcance del chorro;
- d) el tipo de atomización;
- e) las probabilidades de obturación;
- f) las características físicas (forma, volumen, solidez);
- g) la resistencia a la corrosión.

Tanto en su diseño como en su construcción, los rociadores deben ser técnicamente perfectos (véase la figura 5) y deben responder a las exigencias de las operaciones mineras, especialmente los que se instalan en las rozadoras, en las máquinas de carga y en los lugares de transbordo y de carga. También es muy importante que sean fáciles de limpiar (véase la figura 6).

Caudal de agua lanzado

La cantidad de agua que se lanza debería ser la adecuada a las condiciones en que se está trabajando, es decir, que un

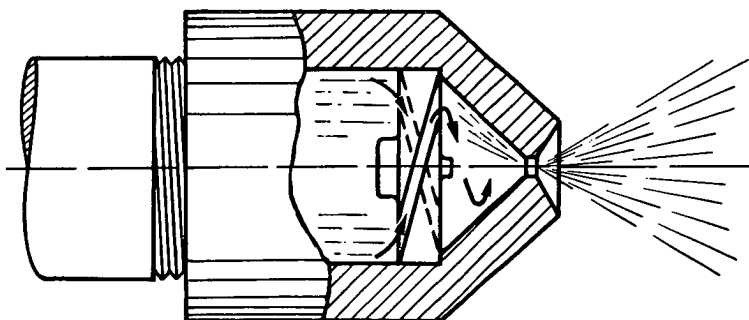


FIG. 5. — Sección longitudinal de un sencillo tipo de boquilla de rociador.

rociador no debería consumir más agua que la necesaria para lo que se lo está utilizando. La experiencia ha demostrado que los rociadores que lanzan menos de 1,5 l/min de agua no dan buenos resultados, y, por el contrario, un rociador instalado en un punto de transbordo de un aparato transportador a otro o en un punto de carga no debe lanzar agua en exceso, porque se pueden producir deslizamientos del suelo de las galerías o inconvenientes en la planta de preparación del mineral. En términos generales, un rociador instalado en un punto de transbordo o de carga no debería lanzar tal cantidad de agua que parte de ella pueda ser llevada por los transportadores de correa o por las vagonetas. En la mayor parte de los casos, el volumen de agua lanzado debería ser de entre 2,5 y 4 l/min, a una presión de 7 kg/cm².

Para regar roca o carbón sueltos se deben utilizar rociadores que suministren una cantidad de agua bastante grande, para humedecer completamente el material en poco tiempo. El chorro debería ser lo más ancho posible y del mayor alcance posible, pero las gotas de agua deberían ser bastante finas y la velocidad de choque del agua lo suficientemente moderada para que no se levanten nubes de polvo frente al chorro mismo. También se necesita un rociamiento bastante denso cuando se trata de formar una cortina para eliminar el polvo producido por las voladuras.

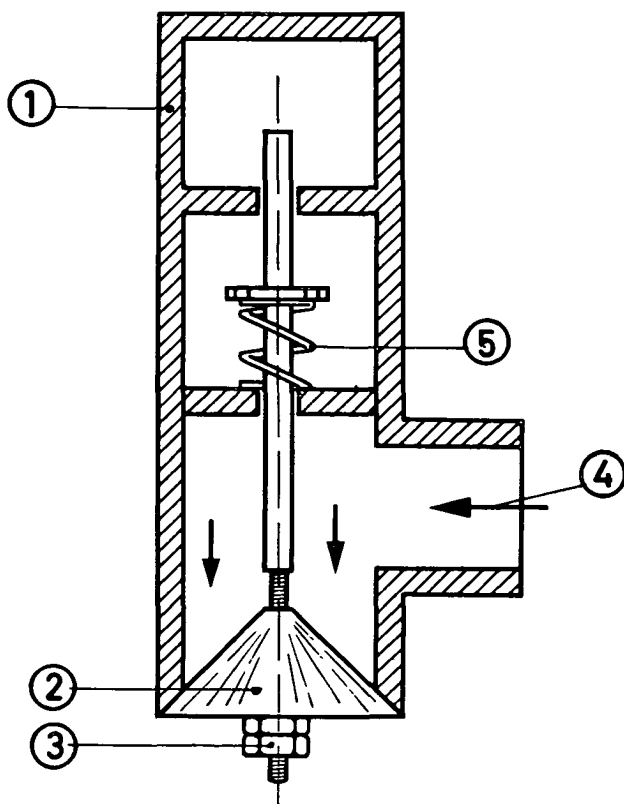


FIG. 6. — Boquilla de rociador de limpieza automática.

1: Pieza cilíndrica hueca. 2: Difusor cónico regulable. 3: Regulación de la tensión del resorte. 4: Entrada del agua. 5. Resorte.

Como acaba de verse, es muy importante calcular correctamente el consumo de agua cuando se utilizan rociadores de agua, pero aún es más importante hacerlo cuando los rociadores que se utilizan son de agua y aire. El objeto de este último tipo de rocia-

dores es la particularmente buena atomización del agua mediante el uso de aire comprimido. Si el volumen de agua es insuficiente, las grandes cantidades de aire comprimido producirán una especie de niebla que permanecerá en el aire durante largo tiempo. En cambio, si se utiliza demasiada agua no se producirá toda la niebla necesaria y la que se produce tenderá a descender con demasiada rapidez. La niebla producida por estos tipos de rociadores no debe quedar flotando durante más de dos o tres minutos, según la velocidad del aire en el punto donde se los emplee.

Características del rociamiento

La forma del chorro pulverizado tiene gran importancia; la cortina de agua que resulta de esta pulverización no debe tener intersticios por los cuales puedan pasar partículas de polvo sin mojar. Una instalación de rociamiento de una o más boquillas con la que se trata de lograr la precipitación del polvo en una galería debe cubrir toda la sección de la galería.

La precipitación del polvo se logra más eficazmente cuando la cortina de agua producida por el rociador tiene una gran dispersión transversal y una longitud correspondiente. En estas condiciones se necesitará un menor número de boquillas y se obtendrán los mismos resultados.

También es muy importante el tipo de atomización que se obtiene de un rociador. El agua debe ser pulverizada con la mayor uniformidad posible. No conviene utilizar rociadores que lancen un chorro que sólo tenga suficiente densidad en el centro, con zonas periféricas de densidad muy inferior. Otra característica directamente relacionada con el tipo de atomización es el tamaño de las gotas de agua: las gruesas no fijan bien las partículas de polvo; en cambio, las pequeñas, por su gran número, pueden proteger mejor del polvo un lugar determinado, siendo menor la cantidad de agua utilizada, pero de todas maneras no deben ser demasiado finas, porque no harán precipitar la cantidad de polvo suficiente.

LIMPIEZA DEL AGUA

Es indispensable que el agua que se utiliza para el rociamiento sea agua limpia y con la menor cantidad de ácidos posible (véase el capítulo II). Si se emplea agua sucia se obturarán las boquillas de los rociadores, e incluso puede aumentarse el número de partículas de polvo en suspensión en el aire. Muchas quejas acerca de la ineficacia de los rociamientos se deben a que lo que se está utilizando es agua sucia. Si existen dudas al respecto se pueden instalar dispositivos para depurar el agua, que eliminan las partículas de más de 0,5 mm y pueden limpiar entre 7.000 y 7.500 litros de agua por hora sin ninguna pérdida notable de presión. Los rociadores que se están utilizando se deben mantener bajo constante vigilancia para que en todo momento funcionen como es debido.

INSTALACIONES DE ROCIAMIENTO MANDADAS A MANO

Las instalaciones de rociamiento mandadas a mano o que funcionan sin control no siempre dan buenos resultados. Puede ocurrir que un rociador que se ha cerrado no se ponga en funcionamiento nuevamente en el momento en que se lo necesita, y puede asimismo suceder que no se cierren los rociadores durante las interrupciones del trabajo, con las serias consecuencias que esto puede tener. El equipo de acarreo se puede mojar y se puede poner escurridizo, las bandas de caucho de los transportadores se pueden desgarrar si los fragmentos de carbón mojados que se pegan a ellas penetran en el tambor impulsor, y el exceso de agua puede ocasionar deslizamientos del suelo de las galerías y causar toda clase de dificultades. Además, el riego prolongado durante las interrupciones del transporte o de la carga es perjudicial para el carbón o el mineral que se está transportando. Cuando el carbón está demasiado húmedo resultan más difíciles y más caras las operaciones de cribado y de clasificación. Generalmente se ha podido comprobar que el exceso de humedad del producto, cuando no se debe al agua de infiltración natural de la mina (como sucede

a menudo e inevitablemente), se debe a la mala utilización de los rociadores.

Para evitar que el carbón se moje demasiado es preciso poder regular la cantidad de agua que se da a los rociadores según la cantidad de material que se está transportando. Como en un mismo turno de trabajo hay frecuentes fluctuaciones e interrupciones en el acarreo del material, el personal debe poder abrir y cerrar rápidamente los rociadores mandados a mano. Esto quiere decir que la buena regulación del rociamiento dependerá en gran parte del personal, del que de todas maneras no cabe esperar que esté regulando constantemente el agua de rociamiento según la cantidad de material que está llevando, por ejemplo, un transportador de correa.

INSTALACIONES DE REGULACIÓN AUTOMÁTICA

Para evitar los inconvenientes de la regulación a mano se han inventado reguladores automáticos, que dejan pasar únicamente la cantidad mínima de agua necesaria para el rociamiento del material que se está transportando en cada momento, con lo cual se asegura la necesaria precipitación del polvo y se evita el exceso de agua.

El origen de los reguladores automáticos está en un sistema ideado para los transportadores de correa, en que la carga que hay sobre el transportador en el punto de transbordo o de carga actúa sobre un sistema de planchas y hace funcionar una válvula que regula automáticamente el suministro de agua. Este tipo de regulador ha dado buenos resultados en muchas minas (véase la lámina IV).

Hay otro sistema de regulación en que la válvula de admisión del agua se hace funcionar mediante una pequeña bomba giratoria de aceite. La flexión de la banda transportadora cargada imparte un movimiento de rotación a una rueda de transmisión acanalada, lo cual hace que se ponga en movimiento una bomba que rechaza en un cilindro un fluido hidráulico procedente de un depósito a baja presión, y el pistón, al que está unida una barra de empuje, al

avanzar, abre la válvula de admisión del agua. Este mecanismo también puede ponerse en funcionamiento con el movimiento de las vagonetas, de los basculadores, etc., y con un aparato de tipo corriente se puede regular la presión desde el mínimo de $0,7 \text{ kg/cm}^2$ hasta el máximo de 105 kg/cm^2 .

Otro mecanismo que también regula el riego según la cantidad de material que está pasando sobre diversos tipos de aparatos de transporte continuo es puesto en movimiento por la desviación de un brazo articulado cuya posición está determinada por la altura a que llega el material que se está transportando. El rociador y el regulador forman un solo bloque y pueden ser utilizados en cualquier punto de transbordo o de carga y sea cual fuere el equipo de transporte continuo. La salida de agua está regulada mediante una válvula de compuerta que es abierta y cerrada por el brazo articulado de que se habló antes. Con una pequeña desviación de la válvula, pasa al rociador una pequeña cantidad de agua, y cuanto mayor sea la desviación mayor será también la cantidad de agua que a este último llega. Cuando no está pasando ningún material se corta automáticamente el agua. De este modo, se hace el rociamiento sin que intervenga para nada el personal de explotación.

Los ensayos con dispositivos de esta clase en los puntos de transbordo del frente han mostrado que utilizando una válvula con una abertura de 3 mm y que da paso a 3 l/min de agua aproximadamente, la cantidad de polvo que se levanta al pasar el carbón de un transportador blindado que lo toma en el frente al equipo de transporte de una galería se puede reducir en alrededor de 90 por ciento, y las partículas finas, de menos de 10 micrones, en alrededor de 70 por ciento.

EL VAPOR DE AGUA

Se han hecho experimentos para estudiar la posibilidad de emplear el vapor de agua a fin de lograr la precipitación del polvo que se levanta en los lugares de carga subterráneos, para lo cual se han ideado diversos tipos de aparatos eléctricos de producción

de vapor. También se han hecho ensayos con el vapor de agua para la infusión del carbón, pero los resultados no han sido muy buenos.

Ya hace muchos años que se utiliza el vapor de agua en los basculadores de la superficie, donde se puede disponer de él con facilidad. En estos casos se lo debe introducir bajo una campana que cubre al basculador y se debe instalar un mecanismo para la introducción automática del vapor cuando el basculador se vuelca. También se ha empleado el vapor en las instalaciones automáticas de carga de skips.

En la práctica, el vapor tiene el inconveniente de que exige una instalación complicada y de gran tamaño, lo cual hace difícil su empleo subterráneo. Otra de las dificultades con que para su empleo se tropieza es la de que hay que disponer de instalaciones adecuadas para producir calor, y en las minas de alta temperatura no conviene calentar más el aire.

CONDENSACIÓN NATURAL

El enfriamiento y la condensación naturales del aire húmedo también eliminan el polvo de la atmósfera. Las partículas de polvo actúan como núcleos alrededor de los cuales se produce la condensación, y quedan retenidas en las gotitas de agua a medida que éstas se van formando. Este fenómeno se puede observar cuando el aire húmedo y caliente de las zonas de trabajo más profundas de una mina en que el sistema de ventilación es ascendente llega a las zonas de trabajo superiores. Cuando el aire llega a éstas, la condensación debida al enfriamiento y a la descompresión es ya considerable, y la cantidad de polvo que hay en el aire es mucho menor. Se observa el mismo efecto cuando se enfría el aire húmedo y caliente en instalaciones subterráneas de refrigeración. De esta manera pueden llegar a ser eliminadas incluso algunas de las partículas más finas.

CAPÍTULO IV

VENTILACIÓN

Ventilar una mina quiere decir asegurar en todos los lugares de trabajo subterráneos una circulación natural o artificial de aire en cantidad suficiente para que todos los lugares de la mina donde se haya de trabajar o por donde se haya de circular reúnan las necesarias condiciones de seguridad e higiene.

En especial, la ventilación adecuada es fundamental para evitar la formación de mezclas explosivas de aire y metano, para suprimir los humos tóxicos, para reducir la temperatura en los lugares de trabajo muy calurosos, para mantener condiciones de trabajo tolerables y, en fin (cosa no menos importante), para rebajar el grado de concentración del polvo en suspensión en el aire y arrastrar al exterior el que se produce en todas las operaciones mineras.

VENTILACIÓN PRINCIPAL

La adecuada ventilación de las minas es un problema que en los últimos tiempos ha ido adquiriendo cada vez mayor importancia en el trabajo de los ingenieros de minas. Ello puede atribuirse no sólo a las demandas de mejoramiento de las condiciones de trabajo y a los problemas conexos que plantean las minas más profundas y más calurosas, sino también a una más clara conciencia del riesgo que entraña el polvo y de lo mucho que se lo puede reducir mediante una adecuada ventilación.

Los reglamentos mineros de la mayor parte de los países exigen que en los trabajos subterráneos de minas y túneles se mantengan ciertas normas de ventilación. Suelen ser normas mínimas relativas

a la cantidad de aire por trabajador del fondo o a la pureza del aire (presencia de gases nocivos o inflamables y de polvo); en algunos casos también se exige un poder mínimo de enfriamiento del aire. En algunos países, la ley exige que se designe a una persona calificada para que se encargue de la inspección en lo que se refiere al polvo y a las medidas de prevención dentro de la mina; en ciertos casos puede ser conveniente encomendar también a esta persona las cuestiones de ventilación. Existen asimismo disposiciones legislativas relativas a la dirección que debe seguir el aire

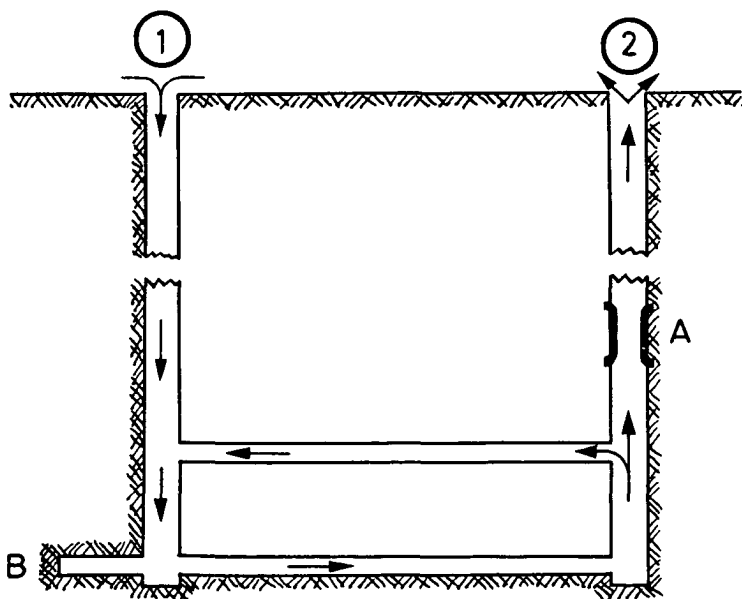


FIG. 7. — Tendencia del aire a la recirculación debido a estrechamientos y otras irregularidades del circuito.

1: Pozo de entrada del aire. 2: Pozo de retorno del aire.

La reducción de la sección del pozo de retorno en el punto A y el entrante que hay en el punto B hacen que el aire ya viciado recircule por la mina.

dentro de la mina y a las precauciones que se deben adoptar para evitar los escapes o la recirculación de aire ya viciado (véase la figura 7), y a la obligación de mantener regularmente un control, de registrar los datos pertinentes y de presentar informes y estadísticas al respecto.

Al hacer los estudios previos del sistema de ventilación de una mina no se deben pasar por alto ciertos detalles muy importantes para la prevención y la supresión del polvo. Así, es preciso abrir galerías de ventilación por las que pueda llegar a los lugares de trabajo aire puro suficiente, sin que este aire recoja antes el polvo que pueda haberse producido al efectuar operaciones como las de transporte y extracción a la superficie, y por las que no circule el aire con velocidad excesiva, para que no levante polvo. Además, se debe proporcionar aire puro, de manera independiente, a cada uno de los sectores principales de trabajo, para evitar en todo lo posible que el polvo que se produce en un sector sea arrastrado a cualquiera de los otros.

Funciones de la ventilación

Un buen sistema de ventilación hace circular aire puro por todos los lugares de trabajo, arrastra las impurezas (gases o polvo) y, por lo tanto, da a los trabajadores en todo momento el aire limpio que les es necesario.

Otra de las cosas importantes que se obtienen con una buena ventilación es la dispersión del polvo en suspensión en el aire y su menor concentración. Las partículas de polvo se suelen desprender y pasar a la atmósfera en una especie de nube cuya forma depende de su origen, de la naturaleza de las propias partículas y también de la corriente de aire que exista en el lugar. Si la corriente de aire es turbulenta, como ocurre en las minas en las condiciones normales de ventilación sea cual fuere la velocidad del aire, la nube de polvo se dispersa rápidamente, de manera que se reduce considerablemente su concentración y el polvo tiende a esparcirse uniformemente por toda la corriente de aire. Asimismo, si dos

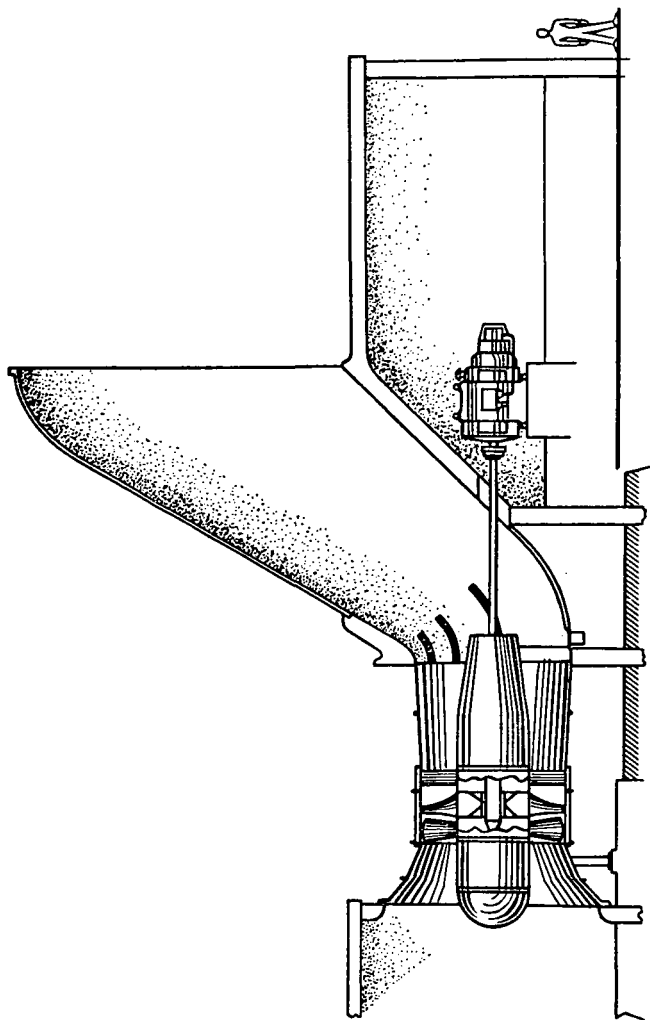


FIG. 8. — Turboventilador para ventilación de minas.

corrientes turbulentas de aire en que el grado de concentración del polvo es diferente chocan una con otra, la concentración en la masa total de aire se equilibrará en un grado intermedio.

Sistemas de ventilación

No se examinarán aquí detalladamente los aspectos técnicos de la ventilación de las minas, cuestión estudiada con gran detenimiento en muchos libros de texto y manuales, pero una breve descripción del sistema general de ventilación de una mina hará ver más claramente su importancia y la estrecha relación que existe entre una buena ventilación y la reducción del grado de concentración del polvo en suspensión en el aire.

La circulación del aire en una mina se debe a una diferencia de presión entre la boca de entrada y la boca de salida. El aire recorre los pozos o los socavones y las galerías de ventilación, llega a los lugares donde se lo necesita y vuelve al exterior por la galería de retorno. La diferencia de presión que asegura la necesaria circulación del aire puede ser creada por medios naturales o con la ayuda de uno o varios ventiladores (véase la figura 8). Sólo en las pequeñas minas, donde el volumen de aire que circula es relativamente reducido y donde su control y su regulación no presentan grandes dificultades, se confía en la presión natural para la ventilación, sin echar mano a otros recursos. Pero hoy hay muchas minas en las que el volumen de aire que circula llega a ser de hasta 1.000 m³/s, a presiones aun superiores a 600 mm de agua (1 mm de agua es igual a 1 kg/m²), de manera que el estudio y la instalación de los ventiladores de las minas constituye actualmente un importante problema de ingeniería. Los ventiladores principales están generalmente situados en la boca del pozo de salida del aire y mantienen la mina bajo aspiración. Este sistema es el preferible en la mayor parte de los casos, pero en algunas minas que no son de carbón la instalación puede ser subterránea y estar situada ya en la sección de entrada, ya en la de retorno del aire. En algunos casos, especialmente cuando el circuito de ventilación es muy extenso o cuando la resistencia a la corriente de aire es excepcionalmente grande,

puede haber que instalar en el fondo ventiladores auxiliares o de distribución del aire, además de los ventiladores principales.

La distribución del aire por los lugares de trabajo dependerá de la naturaleza y del trazado de la mina: número de chimeneas y demás vías que conectan el fondo con la superficie; número de capas o macizos explotables y su espesor, declividad, continuidad, etc. El aire debe ser distribuido o dirigido de manera que recorra los lugares de trabajo, y por lo general se lo divide en cierto número de corrientes secundarias que alimentan diferentes sectores de ventilación. En las minas de carbón es necesario abrir vías de entrada y de retorno del aire separadas para cada sector, y en la mayor parte de los países las condiciones que éstas deben llenar están establecidas por los reglamentos, lo mismo que la obligación de abrir aun otras vías de ventilación según el tamaño de la mina. En las minas de metales, el aire viciado se puede dirigir hacia el exterior, en muchos casos, haciéndolo pasar por las zonas de la mina que ya no están en explotación, cuando estas zonas comunican con los afloramientos en que se trabaja a cielo abierto, pero aun así es indispensable mantener abiertas las vías de comunicación necesarias para que el aire viciado llegue a la superficie, y en las minas donde existen obstáculos, como contravetas o grandes fallas, o donde las zonas que se dejan de explotar se cierran rápida y completamente, es a menudo necesario realizar operaciones mineras especiales con el único objeto de mantener abiertas las vías de retorno del aire al exterior.

La resistencia con que tropieza el aire para circular dentro de una mina depende principalmente de la sección de los elementos del circuito de ventilación. También puede depender del roce del aire contra las superficies de esos elementos del circuito (el suelo, las paredes, el techo, etc.), de la extensión y de la naturaleza de estas superficies y de los obstáculos o los cambios de dirección muy pronunciados que en el circuito pueda haber. En la figura 9 se indica la relación que existe entre la sección de un elemento del circuito y la cantidad de aire que pasa, siendo la presión una constante. Así, pues, para mantener una buena circulación de aire hay que tener en cuenta todos estos factores y eliminar todo lo que

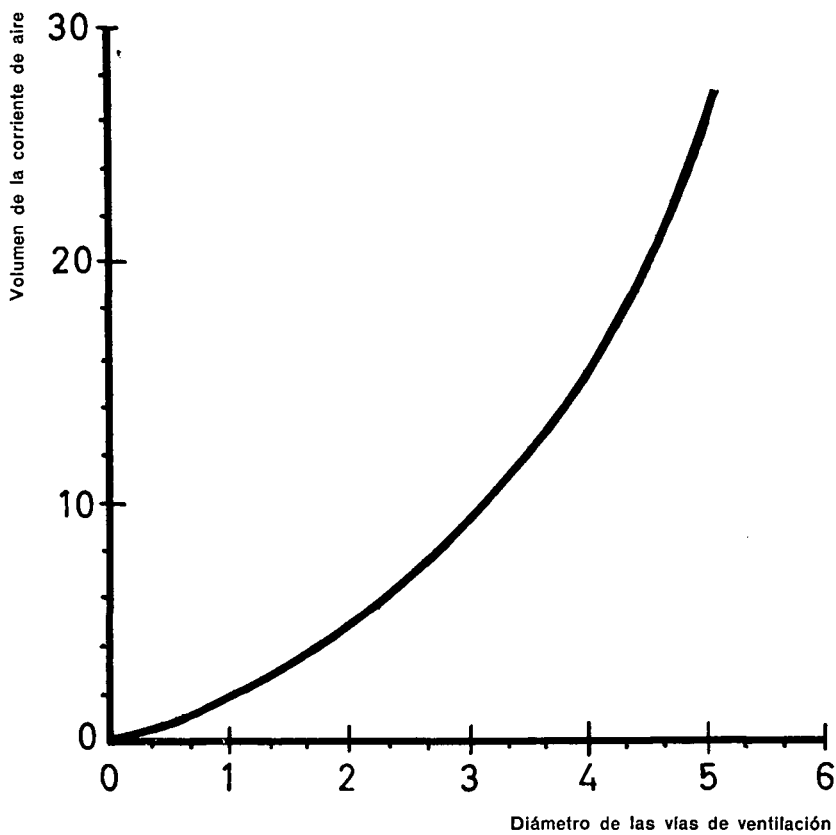


FIG. 9. — Curva de variación del volumen de la corriente de aire según el diámetro de las vías de ventilación.

pueda ser causa de que la resistencia global del circuito sea excesiva.

Al mismo tiempo se deben evitar los escapes y los cortos circuitos en la corriente de aire, para lo cual se deben vigilar atentamente los diques de cierre y los tabiques que existan entre las vías de entrada y de retorno del aire. También es muy importante construir esclusas de aire con puertas herméticas.

Entre las demás cuestiones que hay que tener en cuenta están el cierre hermético de las zonas en que la explotación ha terminado, el control del reparto del aire en corrientes secundarias, la instalación de ventiladores auxiliares y de distribución y la concentración de la corriente de aire de manera que barra los frentes de trabajo con la suficiente velocidad, y tratándose de minas grisuosas o de zonas de alta temperatura tampoco deben olvidarse los muy diversos problemas que plantea la calidad del aire, problemas ajenos a esta guía y propios de los ingenieros especializados en cuestiones de ventilación.

Velocidad y volumen del aire

Para que el aire pueda arrastrar el polvo o reducir su grado de concentración, la velocidad de la corriente no debería bajar de cierto límite. En algunos países se ha fijado la velocidad mínima de 0,25 m/s, aunque en la práctica se necesitan velocidades mucho mayores en las zonas de intensa producción. La velocidad a que debe pasar el aire por los frentes de arranque se debería fijar de acuerdo con las circunstancias de cada caso particular y con lo que por experiencia se conoce acerca del polvo, de la temperatura y del grado de humedad que existen en cada lugar.

La cantidad de aire que habrá que dar a una mina dependerá de la extensión de los lugares de trabajo, del volumen del trabajo que en ella se esté haciendo y de la naturaleza del yacimiento que se esté explotando, pero se la debe calcular de manera que se mantenga la velocidad deseada en todos los sectores a que se envía el aire. Los reglamentos mineros de algunos países fijan mínimos de entre 0,85 y 6 m³/min por hombre, pero en la práctica se suele pasar mucho de esas cifras.

La velocidad del aire y el grado de concentración del polvo

El efecto de reducción del grado de concentración del polvo que tienen las corrientes de aire de distintas velocidades se puede demostrar prácticamente. Si la velocidad de la corriente es de entre 0 y 0,5 m/s, duplicando la velocidad se reducirá a la mitad la concentración de polvo. A velocidades superiores el efecto de reducción es menor, porque el aire empieza a levantar parte del polvo que estaba depositado, y cuando la velocidad pasa de 2 m/s puede aumentar la cantidad total de polvo en suspensión en el aire. En la figura 10 se reproduce la curva experimentalmente determinada

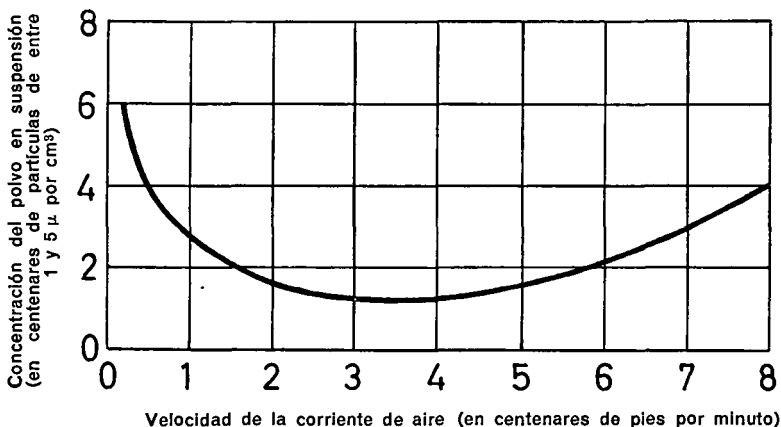


Fig. 10. — Curva de variación del grado de concentración del polvo en suspensión según la velocidad de la corriente de aire.

que indica la relación entre la velocidad de la corriente de aire y la concentración del polvo en suspensión, pero la velocidad más conveniente dependerá de diversos factores, tales como la composición y la naturaleza del polvo, la dirección de la corriente de aire en relación con la dirección en la cual se transportan el

carbón o los minerales de que se trate y la clase de trabajo que se está haciendo. En las minas de carbón no se recomiendan velocidades superiores a 2,5 m/s. En otros tipos de minas puede ser aceptable una velocidad mayor. Lo mismo que la velocidad mínima, la velocidad máxima se debería fijar de acuerdo con las circunstancias.

Asentamiento del polvo

El asentamiento del polvo sobre el suelo, las paredes y otras superficies en las galerías de las minas contribuye a reducir el grado de concentración del polvo en suspensión en el aire, pero, dadas las reducidísimas dimensiones de las partículas de que nos ocupamos, el proceso es muy lento y no se puede sacar partido de él para reducir el grado de concentración del polvo en los lugares de trabajo. Sin embargo, en determinadas circunstancias (por ejemplo, cuando el aire cargado de polvo recorre grandes distancias a poca velocidad) se ha logrado una considerable reducción de la concentración del polvo en suspensión merced a la sedimentación, y en algunos casos, generalmente en minas metalíferas, esto ha permitido ventilar otros lugares de trabajo con el aire ya de retorno de lugares alejados de la misma mina.

Aglomeración de las partículas

En ciertas condiciones, la sedimentación del polvo puede también ser resultado de la aglomeración espontánea de pequeñísimas partículas, y se han hecho ensayos tratando de activar este proceso con la ayuda de aerosoles, pero los resultados obtenidos han sido desiguales y con las concentraciones de polvo que se encuentran normalmente en las minas bien ventiladas se debería dar poca importancia a este fenómeno en la lucha contra el polvo.

VENTILACIÓN AUXILIAR

En todas las minas existen lugares a los que no llegará la corriente de aire principal, por grande que sea su volumen. Entre

estos lugares figuran las galerías de avance y todos los demás tipos de galerías sin salida. También deben tenerse en cuenta las partes de los frentes de arranque donde la corriente de aire que a ellas llega no logra arrastrar el polvo ni basta para mantener condiciones higiénicas.

Para ventilar bien estos lugares se utilizan pequeños ventiladores y conductos o tabiques de ventilación. A las instalaciones de este tipo se las llama instalaciones de ventilación auxiliar, y se da este mismo nombre a las instalaciones que se hacen en el fondo o en la superficie para recoger el polvo en el lugar mismo en que se lo produce en las plantas de trituración, las chimeneas para mineral y los talleres, como se verá en los capítulos V y XII.

Se pueden plantear problemas similares de ventilación secundaria en los trabajos de ingeniería civil, donde muchas veces hay que perforar largos túneles. No obstante, en estos casos el aire viciado se descarga directamente en la atmósfera exterior, mientras que en el caso anterior (el de las minas) suele volver al circuito de ventilación principal y, previa depuración, puede volver a pasar por otros lugares de trabajo.

Volumen de aire necesario

Para determinar el volumen de aire que se debe enviar a una galería de avance o a cualquier galería sin salida hay que tener en cuenta diversos factores. Además de dar aire puro a los trabajadores y de eliminar el polvo que se produce en las operaciones de perforación y otros trabajos mineros, hay que hacer desaparecer el humo, el polvo y los gases que produce la pega de barrenos, y en ciertos casos hay asimismo que reducir la temperatura y eliminar los gases naturales que se desprenden de los estratos circundantes.

El volumen de aire que se debe suministrar se debería calcular tomando como base un volumen aproximado de 175 l/s por metro cuadrado de sección de la galería. Cuando es de esperar que se produzca mucho polvo debido a la mecanización de las operaciones de carga o por cualquier otra razón, el volumen de aire suministrado debería ser mayor, como también debería serlo cuando

existe la posibilidad de que se produzcan grandes desprendimientos de gas y cuando la temperatura del macizo es elevada. En casos en que el calor era muy fuerte se ha llegado a dar un volumen de aire de 750 l/s por metro cuadrado de sección del frente.

Debe advertirse que las cifras que se acaban de dar son las del volumen de aire medido a la salida del conducto de ventilación, que será inferior al lanzado por el ventilador y que dependerá de la mayor o menor perfección con que se haya construido el conducto y por lo tanto de su efecto útil.

En los lugares de trabajo que no sean galerías de avance y que no estén atravesados por la corriente de ventilación de un lado a otro, la cantidad de aire que se debe suministrar por los medios auxiliares dependerá de la naturaleza del trabajo que en ellos se esté realizando y de las condiciones propias de cada lugar. Para determinarla se deberá tener en cuenta que la velocidad mínima del aire debería ser de 12 a 15 m/min. En algunos casos puede ser necesario instalar ventiladores, pero muchos de estos problemas se pueden resolver con una instalación adecuada de tabiques y puertas de ventilación.

Ventiladores

Los ventiladores que se utilizan para la ventilación auxiliar pueden estar movidos por electricidad o por aire comprimido. La electricidad tiene la ventaja de ser más barata y más eficaz; además, es menos probable que se la corte cuando el trabajo está interrumpido.

La elección del lugar donde se ha de instalar el ventilador es una cuestión de gran importancia, sobre todo en las minas donde puede haber desprendimientos de grisú. Todo lo relativo a la instalación y la conservación de los ventiladores auxiliares debería estar bajo el control de una persona competente para ello designada, que también debería cuidar de que se restablezca la ventilación si se para un ventilador o hay cualquier otra interrupción.

Hay dos tipos de ventiladores auxiliares: los ventiladores cen-

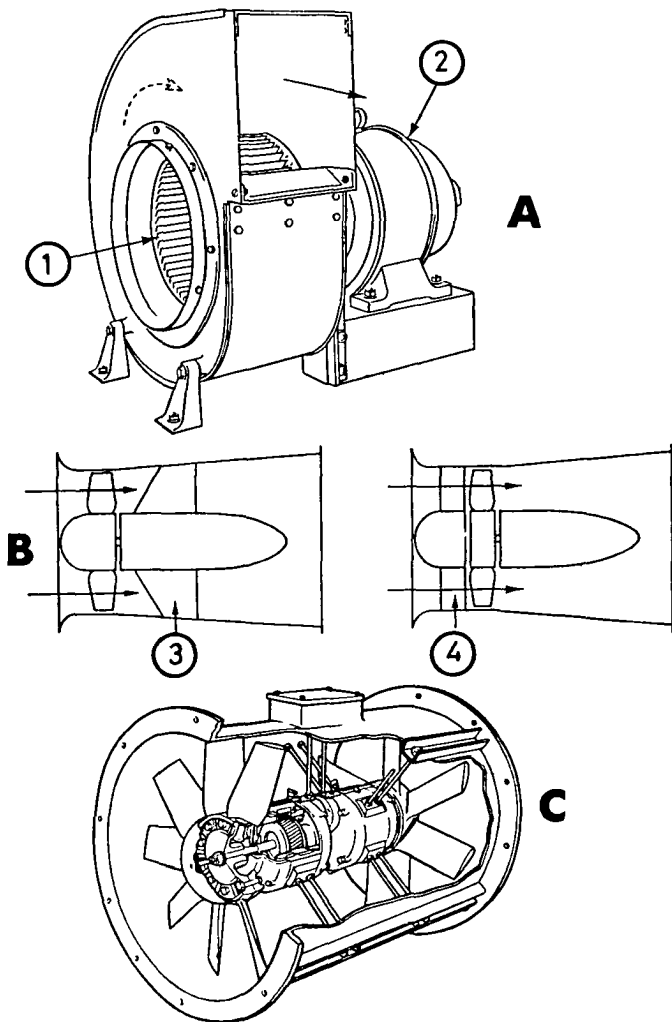


FIG. 11. — Tipos de ventiladores utilizados para la ventilación auxiliar.

A: Ventilador centrífugo. B: Ventiladores de aletas guidoras de corriente axial. C: Ventilador de hélices contrarrotantes de dirección reversible.

1: Entrada del aire. 2: Motor. 3: Aletas guidoras corriente abajo. 4: Aletas guidoras corriente arriba.

trífugos y los ventiladores de corriente axial (véase la figura 11). En general, los de este último tipo, en el que están comprendidos los ventiladores de aleta guiadora, los de hélices contrarrotantes y los turboventiladores, satisfacen mejor las diversas necesidades que pueden tener que satisfacer los sistemas auxiliares de ventilación, ya que son más fáciles de instalar y de trasladar de un lugar a otro y ocupan menos lugar que los centrífugos. Actualmente existen ventiladores de aplicaciones muy diversas y de una gran eficacia.

Conductos de aire

Para la construcción de los conductos de aire para la ventilación de las galerías de avance se utilizan diversos materiales, entre ellos acero sin costura, acero soldado, acero remachado, hierro galvanizado y soldado, duelas de madera sujetas con vueltas de alambre, madera contrachapada, fibra de vidrio, lonas o telas flexibles y materiales sintéticos. Por los conductos construidos con cualquiera de estos materiales, salvo los flexibles, se puede tanto impeler el aire como extraerlo. La elección dependerá, naturalmente, de los materiales de que se disponga en el lugar y de factores económicos, pero también hay que tener en cuenta otros aspectos de la cuestión, como la longitud final del conducto, el tiempo durante el cual se lo utilizará, las condiciones del terreno que habrá de rodearlo y la presión efectiva que se necesita. Al elegir los conductos no se debe olvidar que el costo superior de los mejores quedará compensado no sólo por su mayor eficacia, sino también por su mayor duración y por el valor que conservan aun como material de desecho. Las observaciones y los ensayos hechos en muchas instalaciones de ventilación subterránea demuestran que la calidad de los conductos de ventilación y la forma en que se los instala y se los cuida suelen dejar mucho que desear. En muchos casos, el volumen de aire que sale del conducto no es ni la mitad del verdaderamente lanzado por el ventilador. Para reducir todo lo posible los escapes se debería determinar el rendimiento que se puede esperar y hacer regularmente mediciones para asegurarse de que constantemente se lo obtiene. Los escapes no deberían

pasar del 1 o del 2 por ciento del volumen total de aire lanzado por el ventilador por cada 30 m de conducto.

En las tuberías de metal, las juntas remachadas no dan tan buenos resultados como las juntas soldadas, porque no son herméticas, es más fácil que sufran desperfectos durante el transporte y hay que estar martillándolas a menudo para que no salga el aire. En los conductos de hierro galvanizado dan mejores resultados las juntas plegadas que las juntas remachadas, pero tienden a aflojarse con el largo uso.

Se debe elegir muy bien el tipo de empalme que se va a utilizar, que además de que no debe dejar pasar el aire debe ser fácil de montar en las condiciones en que se trabaja en el fondo. Para todos los conductos de metal se recomiendan los empalmes de reborde, con juntas obturadoras de caucho o cauchutadas (véase la figura 12).

Si un conducto de aire tiene que formar un ángulo, se debe utilizar un codo especialmente construido para ese ángulo, si éste no es muy pequeño. Para los ángulos de hasta 20 grados, se puede utilizar un codo que se construye con un conducto corriente de ventilación cortado en dos partes, formando el plano de corte un ángulo de 80 grados con el eje del conducto. En los bordes de corte se sueldan o se fijan por cualquier otro procedimiento unas bridas corrientes con orificios suplementarios, y haciendo girar una de las secciones en relación con la otra se puede formar un codo.

VENTILACIÓN DEL FONDO DE LAS GALERÍAS DE AVANCE

Elección del sistema de ventilación

Hay dos sistemas de ventilación del frente de una galería de avance, que de ser necesario se pueden asimismo combinar. Uno de ellos consiste en enviar directamente el aire al frente por el conducto de ventilación; el otro consiste en aspirar el aire por este mismo conducto, creando así en la galería una corriente de aire en dirección al frente.

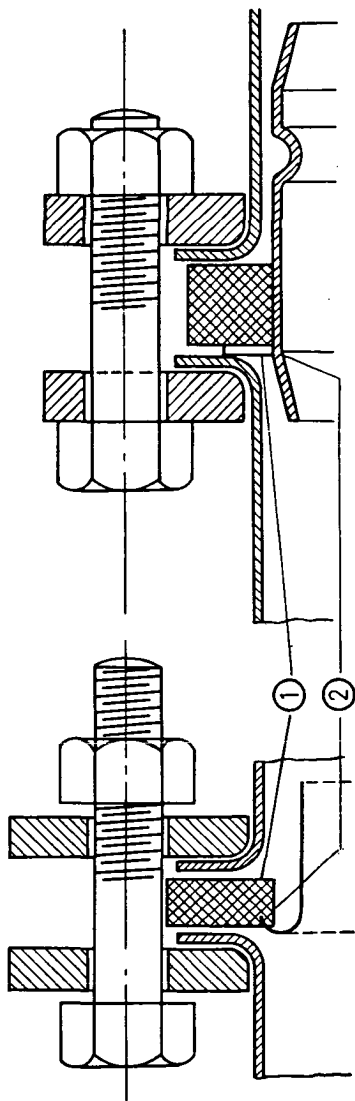


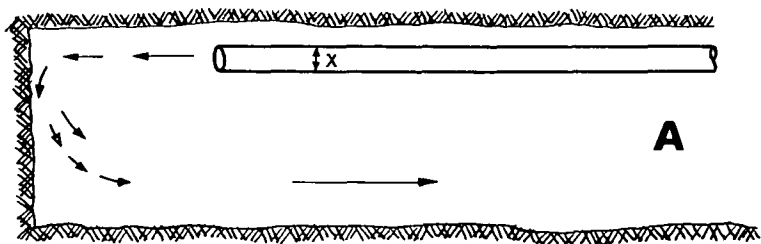
FIG. 12. — Juntas de reborde para conductos de ventilación de hierro galvanizado.
1: Guarnición de caucho. 2: Abrazadera.

El más sencillo y práctico de estos dos sistemas es el de lanzamiento de aire, pero el sistema de aspiración tiene también ciertas ventajas que se indicarán más adelante y, como se verá, la decisión final se debería tomar habida cuenta de las circunstancias propias de cada caso.

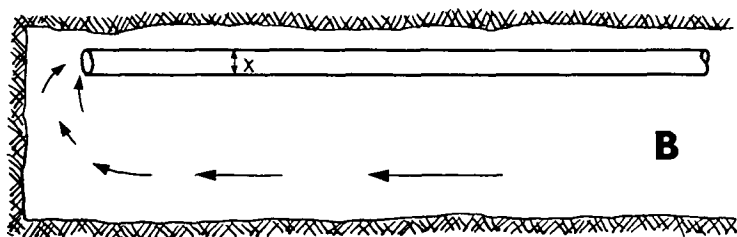
Sistema de aspiración del aire

Desde el punto de vista de la supresión del polvo, el sistema de aspiración es el que más se aproxima al de ventilación de un lado al otro del lugar de trabajo. Si la boca de entrada del conducto de aspiración se pudiera llevar hasta el mismo frente de arranque, se aspiraría todo el polvo producido y habría muy pocas probabilidades de que los trabajadores lo inhalasen, pero en la práctica resulta muy difícil llevar el conducto de ventilación a menos de 12 o 15 metros de un frente en el que deben hacerse voladuras, porque podría deteriorarse. Por lo tanto, cuando se utiliza este sistema de ventilación aspirante hay un espacio muerto entre la boca del conducto y el frente en que es muy grande la concentración de polvo. Un procedimiento que ha dado buenos resultados para obviar esta dificultad es el de instalar un corto conducto secundario, también con un ventilador, que toma el aire fresco que viene de la galería y lo lanza sobre el frente mismo, de manera que la nube de polvo que hay en el fondo de la misma se dispersa y avanza hasta un punto en que el conducto principal puede aspirarla. Este procedimiento de aspiración y lanzamiento de aire simultáneos tiene asimismo la ventaja de que, hecha una voladura, el humo, el polvo y los gases que ésta produce son arrastrados directamente al conducto principal, y los trabajadores pueden volver sin riesgo al frente de arranque mucho antes de lo que podrían hacerlo de no haberse instalado el conducto secundario (véase la figura 13).

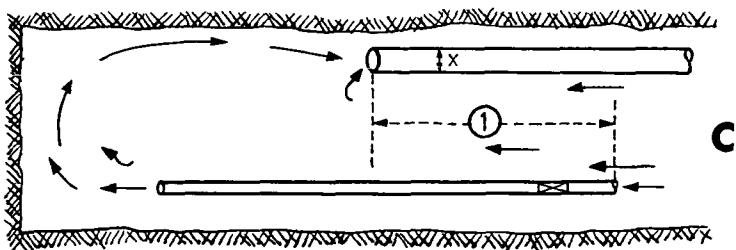
Sin embargo, este procedimiento tiene varios inconvenientes prácticos. Si se trata de una galería de avance de gran longitud, por ejemplo, el aire que entra en ella tendrá que recorrer una considerable distancia desde el punto más cercano del circuito de ventilación principal a una velocidad relativamente baja, de



A



B



C

FIG. 13. — Ventilación de las galerías de avance.

A: Ventilación por lanzamiento de aire; el aire fresco es lanzado directamente sobre el frente de arranque. B: Ventilación por aspiración del aire; adviértase lo difícil que es llevar la boca del conducto de aspiración muy cerca del frente de arranque. C: Ventilación por aspiración y lanzamiento de aire combinados; el extremo del conducto secundario por el que entra el aire en él no debería estar más de 10 m más atrás de la boca del conducto principal por la que se aspira el aire (distancia 1).

manera que se calentará notablemente. Si la temperatura del terreno en que se está trabajando es elevada, ese recalentamiento del aire impedirá toda labor en el frente de arranque. Además, si la galería de avance atraviesa fisuras de las que se desprenden gases o si en la propia galería se está haciendo algún trabajo secundario, el gas o el polvo producidos serán arrastrados hacia el frente y no en la dirección contraria, hacia la corriente principal de ventilación.

Para evitar que el aire vuelva a circular, con la consiguiente y peligrosa acumulación de polvo o gas, es preciso controlar y vigilar muy cuidadosamente el funcionamiento del ventilador del conducto secundario para asegurarse de que el volumen de aire que éste lanza no pasa del 60 por ciento del volumen de aire del conducto principal, y además deben tomarse las precauciones necesarias para que ese ventilador del conducto secundario continúe funcionando si se para el del conducto principal. No obstante, cuando las condiciones son favorables (el calor no es excesivo y no es de temer que se desprendan gases, o bien las galerías son relativamente cortas) el principal problema consiste únicamente en hacer desaparecer el polvo y los humos de las voladuras, y en tales casos es recomendable el sistema de ventilación por aspiración y lanzamiento del aire simultáneos (véanse las figuras 14 y 15).

Sistema de lanzamiento de aire

Dados los inconvenientes del sistema de aspiración, es muchas veces preferible el sistema de lanzamiento, que envía directamente el aire fresco al lugar mismo en que se está trabajando. La fuerte corriente de aire lanzada sobre el mismo frente de arranque dispersa y diluye de manera efectiva el polvo y los gases que puedan desprenderse, y si el volumen de aire es el adecuado se reducirá la concentración del polvo en la corriente de retorno a un límite aceptable. Además, en lugar de dos ventiladores y de dos conductos sólo habrá que cuidar de uno. El principal inconveniente de este sistema de ventilación está en que la nube de polvo y de humo producida por las voladuras recorre toda la galería, y mientras

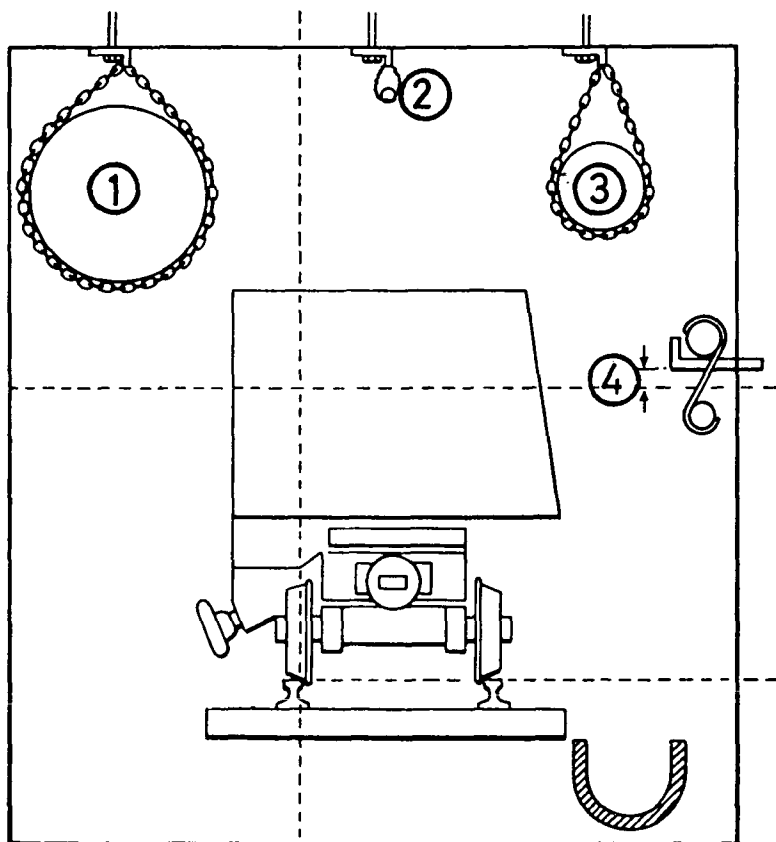


FIG. 14. — Ventilación de una galería de transporte por aspiración y lanzamiento de aire combinados.

1: Conducto de aire de 75 cm de diámetro. 2: Conducto de agua de 5 cm de diámetro, para rociamientos. 3: Conducto de aire de 40 cm de diámetro. 4: Tuberías de aire comprimido y de agua.

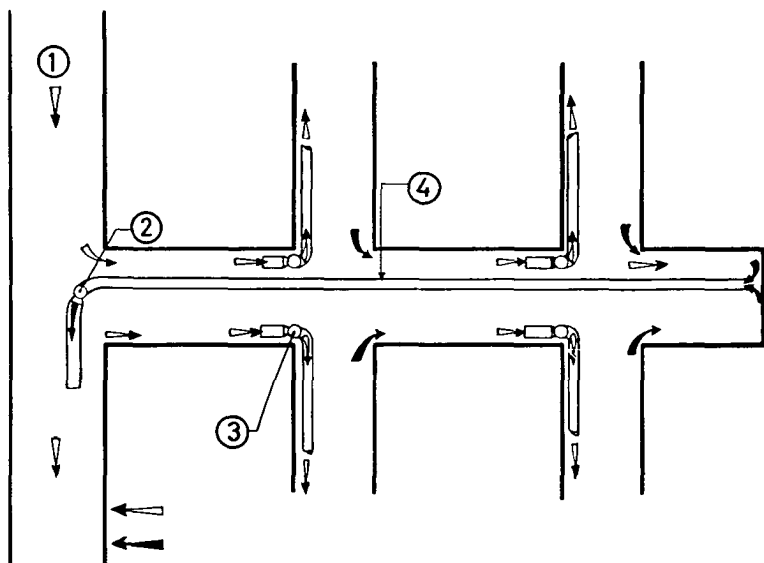


FIG. 15. — Ventilación de varios frentes de talla durante trabajos preparatorios en una mina de carbón.

1: Vía de ventilación principal. 2: Ventilador aspirante. 3: Ventilador impelente. 4: Conducto de ventilación principal.

tanto nadie puede estar en ella. Ésta es la razón por la cual no siempre es conveniente este sistema cuando se quiere que la perforación avance con mucha rapidez.

Vías paralelas

Cuando se perforan muy largas galerías subterráneas y se quiere hacer adelantar rápidamente los trabajos, se pueden lograr buenos resultados abriendo dos vías paralelas unidas entre sí por pasajes transversales a distancias adecuadas (por ejemplo, 150 metros). De esta manera se puede enviar por una de estas vías un gran

volumen de aire que retorna por la otra, y si es necesario se puede poner la vía de retorno en comunicación directa con el pozo de salida del aire. La pequeña distancia existente entre el último pasaje transversal y los dos frentes se puede ventilar por el sistema de aspiración y lanzamiento de aire simultáneos antes explicado. De este modo se facilita la rápida supresión del polvo y de los humos producidos por las voladuras, y además el sistema se presta para el montaje de instalaciones de refrigeración subterránea, si es preciso hacerlas (véase la figura 16).

Sistema de lanzamiento y aspiración de aire combinados

Cuando no es posible abrir dos vías paralelas, especialmente en las obras de ingeniería civil, se utiliza algunas veces un sistema de ventilación por lanzamiento y aspiración del aire combinados. Para esto se pueden utilizar ventiladores de marcha reversible o ventiladores corrientes, de marcha unidireccional, con un sistema de puertas para modificar la dirección de la corriente de aire (véase la figura 17). Con un ventilador de velocidad variable se puede ir regulando el volumen de aire lanzado a medida que avanza la perforación; además, este tipo de ventilador se puede hacer funcionar a la velocidad máxima tras cada voladura para eliminar el humo y el polvo producidos, reduciendo la velocidad cuando es menor la producción de polvo. Con este método es preciso instalar en el frente un pequeño conducto auxiliar de lanzamiento de aire con un ventilador corriente o con un ventilador « venturi » a aire comprimido, para purgar durante la aspiración la zona comprendida entre el final del conducto de ventilación y el frente de talla.

Cuando el riesgo coniótico es muy grande y se utiliza este sistema de ventilación se deben tomar precauciones para que los trabajadores no estén expuestos al polvo que muy probablemente será expulsado del conducto hacia la galería cuando se invierte la marcha del ventilador y se pasa de la aspiración al lanzamiento del aire.

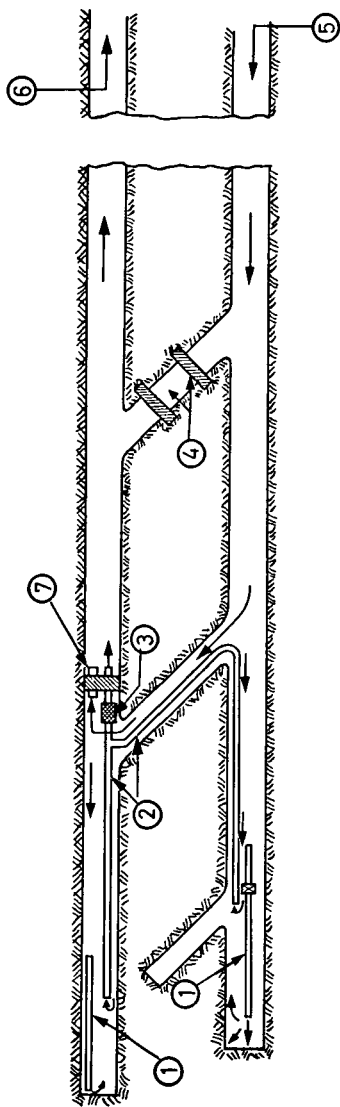


FIG. 16. — Ventilación de dos vías paralelas.

1: Conducto secundario con ventilador. 2: Conductos de aspiración. 3: Ventilador o regulador para controlar la ventilación principal. 4: Tabiques herméticos en una antigua galería transversal. 5: Vía de entrada del aire. 6: Vía principal de retorno del aire. 7: Ventilador para la aspiración del aire.

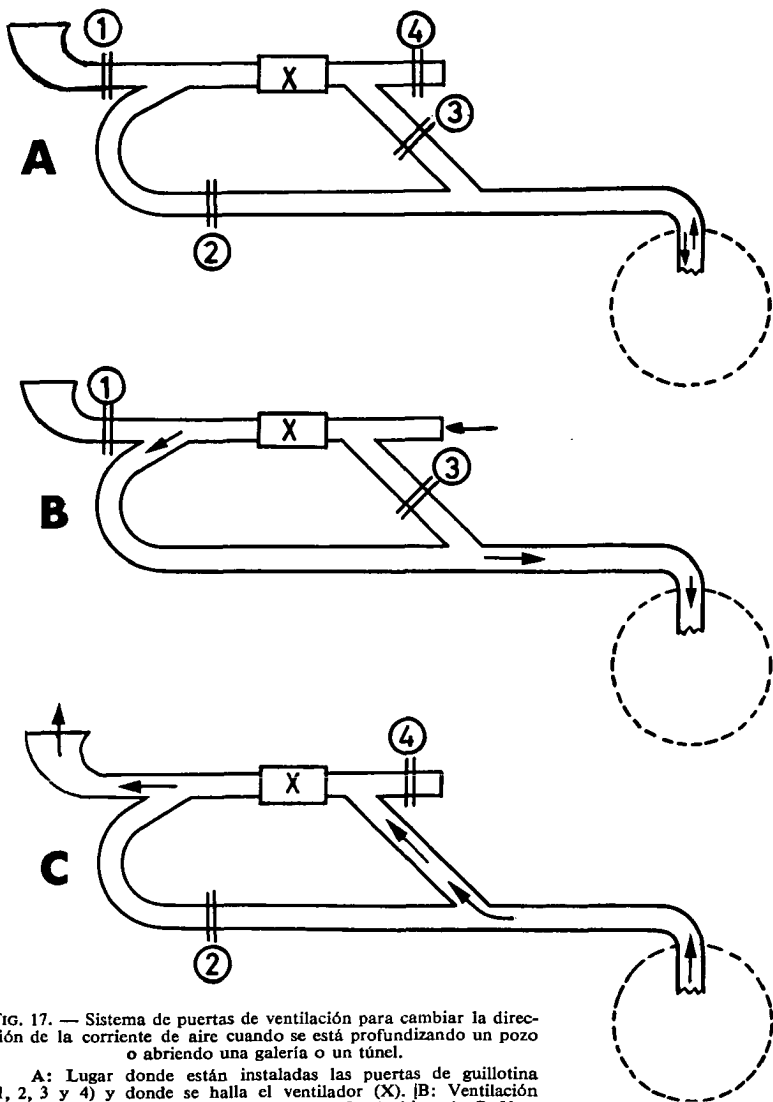


FIG. 17. — Sistema de puertas de ventilación para cambiar la dirección de la corriente de aire cuando se está profundizando un pozo o abriendo una galería o un túnel.

A: Lugar donde están instaladas las puertas de guillotina (1, 2, 3 y 4) y donde se halla el ventilador (X). B: Ventilación impelente (puertas 1 y 3 cerradas; puertas 2 y 4 abiertas). C: Ventilación aspirante (puertas 2 y 4 cerradas; puertas 1 y 3 abiertas).

VENTILACIÓN DE LOS FRENTE DE ARRANQUE

En las minas, el trabajo de producción se hace en los frentes de arranque, los cuales deben estar en todo momento ventilados de manera adecuada y segura. No basta con disipar y eliminar las nubes de polvo en suspensión, sino que además hay que prestar gran atención a las temperaturas elevadas, a los humos producidos por las voladuras y a los desprendimientos de gases. Los sistemas de aireación varían según el tipo de laboreo y la clase de mineral.

Minas de metal

En general, los criaderos inclinados se explotan abriendo vías de comunicación entre los diferentes pisos, por las cuales puede circular el aire, que entra por las galerías de entrada de aire hasta los pisos inferiores, sube luego por los lugares de trabajo sucesivos y sale por la boca de salida tras haber recorrido los pisos superiores. En los criaderos horizontales hace falta un circuito más complicado de vías de entrada y retorno del aire conectadas con cada uno de los frentes de trabajo o cada una de las series de frentes de trabajo también por vías de entrada y de retorno. Los frentes de arranque deberían ser explotados de manera que permita hacer correr el aire por encima de todos los puntos en que se esté trabajando. Cuando no se pueda hacer pasar la corriente de aire por determinado punto se debe instalar un sistema de ventilación secundaria.

Los métodos de explotación por franjas-almacenes, que suponen el cierre de las zonas agotadas de la mina, suelen permitir un buen control de la ventilación, pero con la mayor parte de los demás métodos de explotación por escalones y en todos los frentes de explotación por tajos largos donde no se aplique el método de derrumbe o de relleno completos se tienen que construir tabiques de contención, según la pendiente y la dirección de la explotación, para dirigir el aire solamente hacia los frentes de arranque. Estos tabiques se pueden construir con roca estéril, lona de ventilación, ladrillos de cemento de vermiculita o cualquier otro material adecuado (véanse las figuras 18 y 19).

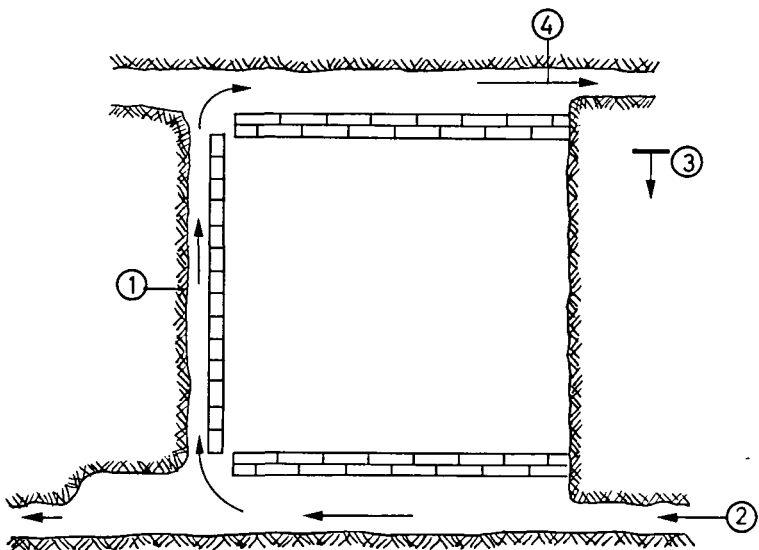


FIG. 18. — Tabiques de ventilación que dirigen el aire hacia un frente de arranque.
 1: Frente de arranque. 2: Entrada del aire. 3: Declive. 4: Retorno del aire.

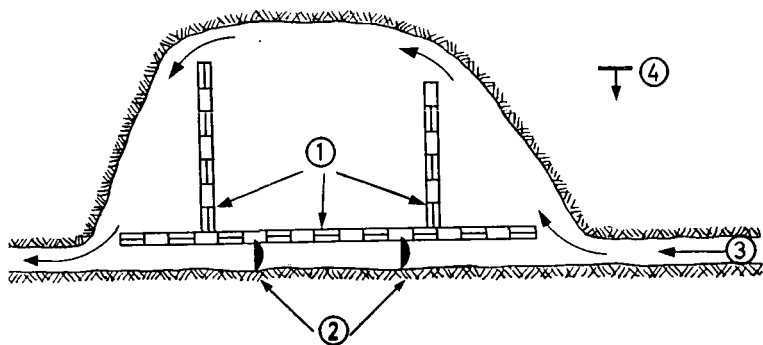


FIG. 19. — Tabiques de ventilación que dirigen el aire hacia un frente de arranque pendiente arriba sin comunicación con un nivel superior.

1: Tabiques de ventilación. 2: Puertas de ventilación que forman una válvula. 3: Dirección de la corriente de aire. 4: Declive.

En las minas de metal se pueden ventilar en serie cierto número de frentes de cada sector. En tal caso se deben tomar precauciones para evitar concentraciones excesivas de polvo, abriendo a partir de la vía de entrada de aire principal ramales suplementarios en puntos intermedios del circuito de ventilación de los frentes, o aumentando el volumen total de aire enviado, o bien reduciendo el número de frentes de las series.

Minas de carbón

En términos generales, los sistemas de explotación de las minas de carbón se pueden dividir en dos grupos: explotación por tajos largos y explotación por cámaras y pilares (aunque existen muchas variantes de estos sistemas).

Los frentes de explotación por tajos largos se ventilan abriendo vías de comunicación con las vías principales de entrada y retorno del aire, con las que se crea una corriente que recorre el frente de arranque. Por lo general se hace pasar el aire de abajo arriba (ventilación ascendente). En la figura 20 puede verse un sistema típico de ventilación de un sector de mina.

La ventilación de los frentes de explotación por cámaras y pilares es más complicada, porque se trabaja al mismo tiempo en un gran número de frentes de arranque y porque es preciso ventilar las cámaras o galerías de avance que están más allá de la zona que recorre la corriente de aireación principal.

Cuando la galería se está abriendo con máquinas continuas el problema se agrava por la rapidez del avance, que lleva consigo una gran producción de polvo y a veces un desprendimiento regular de metano. Lo que hay que hacer en tales casos es instalar tabiques de ventilación o bien ventiladores auxiliares y conductos (véanse las figuras 21 y 22). Entre los distintos sistemas posibles, lo que parece más satisfactorio, tanto para la ventilación como para la supresión del polvo, es instalar un ventilador impelente junto con un sistema auxiliar de aspiración. Siempre hay que tomar muy serias precauciones para evitar la recirculación del aire, que podría tener peligrosas consecuencias. Cabe recordar que las insta-

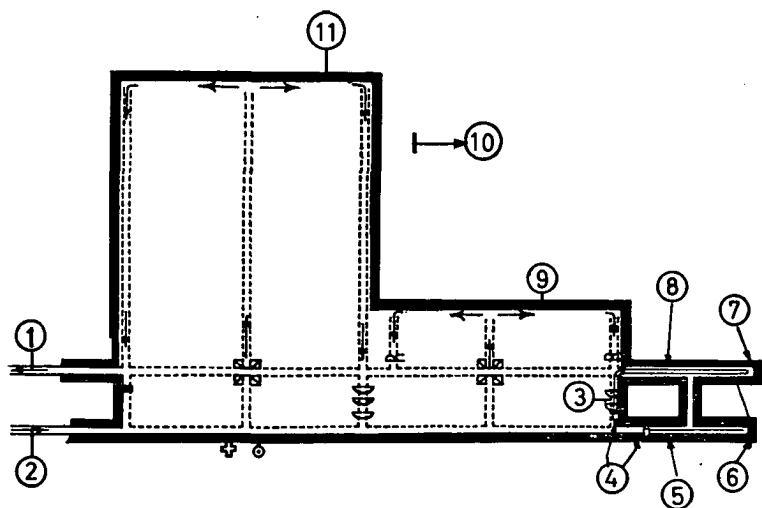


FIG. 20. — Ventilación de un sector de mina.

1: Hacia el pozo de retorno del aire. 2: Corriente procedente del pozo de entrada del aire. 3: Puertas. 4: Ventiladores impelentes. 5 y 8: Conductos de ventilación. 6 y 7: Galerías de avance. 9 y 11: Frentes de arranque. 10: Declive.

laciones auxiliares de aspiración pueden en ciertos momentos rechazar el polvo de carbón lanzándolo a las vías de retorno del aire, lo cual constituye un riesgo más, y para combatir este riesgo se debe emplear agua en todas las fases del trabajo. Se han obtenido buenos resultados instalando en el interior de los conductos de aspiración filtros húmedos de polvo especialmente concebidos para este fin (véase la figura 23). También se puede instalar sobre la propia máquina un sistema de ventilación secundaria consistente en un ventilador y un conducto, y además un tabique de ventilación (véase la figura 24).

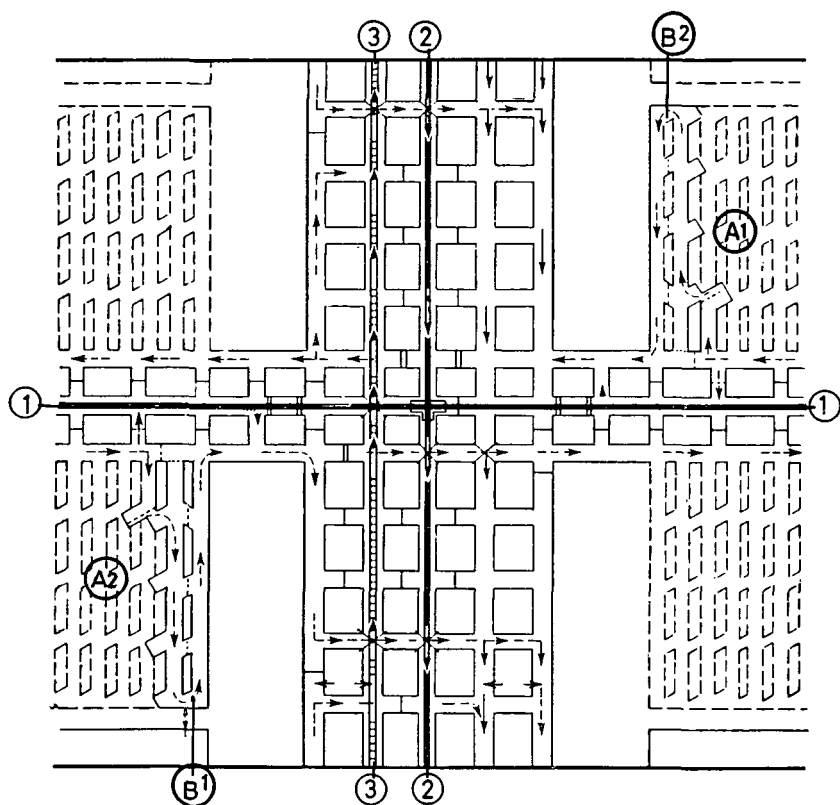


FIG. 21. — Plano de explotación continua con el sistema de ventilación.
 A1 y A2: Sectores de avance. B1 y B2: Tabiques que dirigen la corriente de aire.
 1 y 2: Transportadores de correa. 3: Vía de transporte.

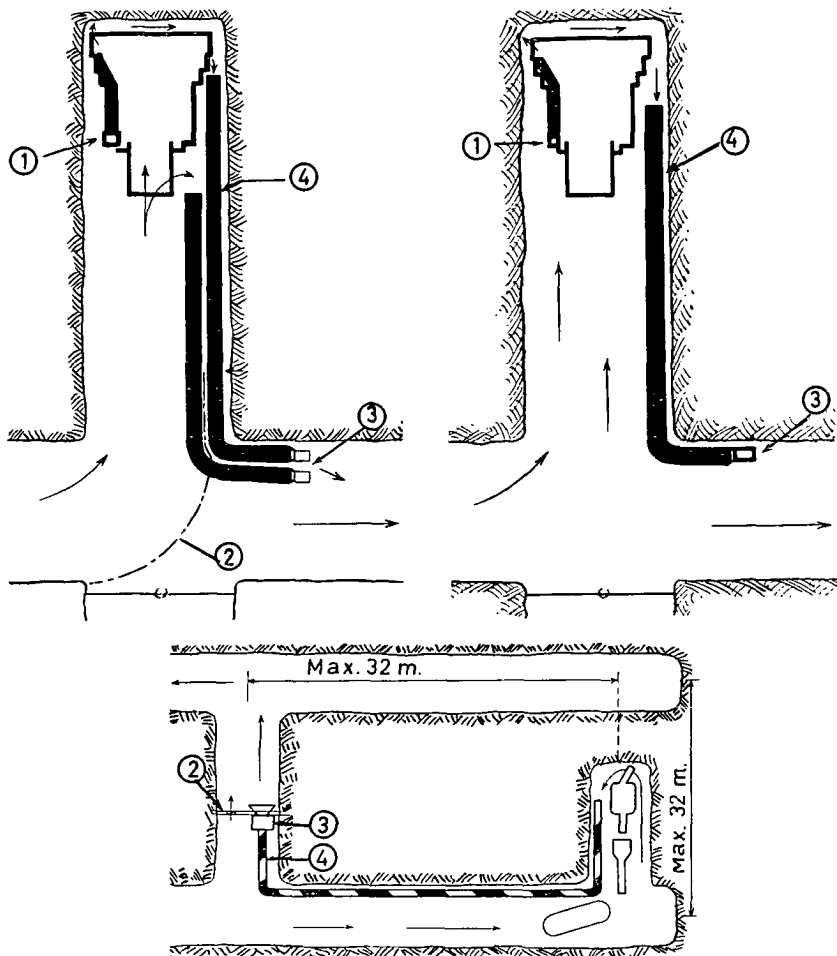


FIG. 22. — Sistemas de ventilación para trabajos con máquinas continuas.

1: Ventiladores impelente. 2: Tabiques de ventilación. 3: Ventiladores aspirantes. 4: Conductos de aire.

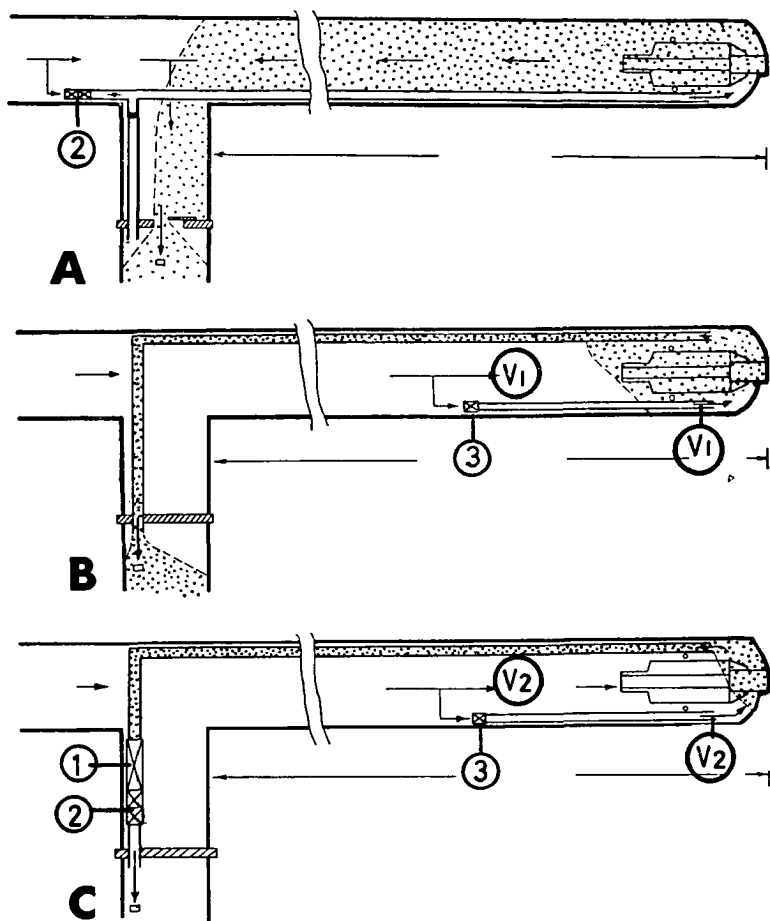


FIG. 23. — Máquinas continuas: captación del polvo con ventilación auxiliar.

A: Ventilación impelente (considerable cantidad de polvo). B: Aspiración natural (velocidad del aire insuficiente para librar de polvo el frente de arranque). C: Aspiración con ventilador auxiliar y colector de polvo (la corriente de aire, de mayor velocidad, libra de polvo el frente de arranque). V1: Velocidad de 0,15 a 0,20 m/s. V2: Velocidad de 0,30 a 0,50 m/s.

1: Ventiladores. 2: Ventiladores auxiliares. 3: Colector de polvo.

Los puntos donde se toman las muestras están señalados en el frente de arranque por pequeños círculos y en la vía de retorno del aire por pequeños rectángulos.

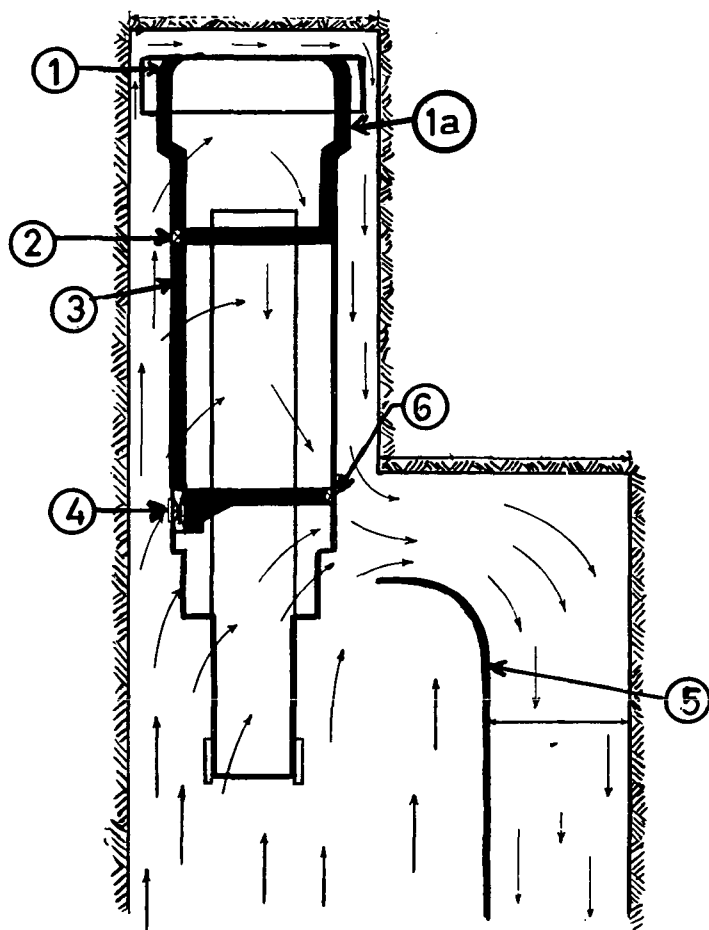


FIG. 24. — Conductos de ventilación sobre una máquina continua.

1 y 1a: Extremos de descarga de aire de los conductos. 2: Compuerta de control. 3: Conducto principal. 4: Ventilador. 5: Tabique de ventilación. 6: Segunda entrada.

VENTILACIÓN DE LOS POZOS QUE SE ESTÁN PROFUNDIZANDO

Los sistemas de ventilación de los pozos que se están profundizando no son fundamentalmente diferentes de los que se instalan cuando se están construyendo galerías de mina. No obstante, la superficie del fondo de los pozos suele ser superior a la del frente de las galerías, y tanto el volumen de trabajo como la cantidad de roca arrancada que se maneja son también correspondientemente superiores. El rápido adelanto del trabajo suele ser de mucha importancia, de manera que la pronta eliminación del polvo y de los humos producidos por las voladuras es una de las principales necesidades.

Cuando se empiezan a excavar los pozos partiendo de la superficie, el sistema de ventilación con que se logran las más satisfactorias condiciones en el frente de trabajo es el de lanzamiento de aire, como cuando se están abriendo galerías. Este sistema tiene el inconveniente de que el personal que baja al pozo después de las voladuras tiene que atravesar la nube de polvo y de humo que sube hacia lo alto, pero se la atraviesa tan rápidamente que el peligro que puede representar es muy pequeño, y se ha comprobado que con este sistema la exposición al polvo y a los humos es menor que con el sistema de aspiración del aire.

Cuando es preciso trabajar en estaciones de bombeo u otras excavaciones laterales hechas en el pozo, o bien en algún pozo secundario, hay que tomar medidas especiales para combatir el polvo y los humos producidos por las voladuras. En estos casos es preferible el sistema de ventilación por lanzamiento y aspiración del aire combinados.

La figura 25 representa diferentes tipos de instalaciones para la ventilación de los pozos que se están profundizando. En los pozos rectangulares se pueden instalar tabiques de ventilación para formar uno o más compartimientos, pero cuando se desea que el trabajo de profundización del pozo adelante rápidamente será generalmente preferible instalar conductos de ventilación, con lo cual, además, habrá menos escapes. El volumen de aire que habrá que dar al fondo del pozo es de, por lo menos, 175 l/s por metro

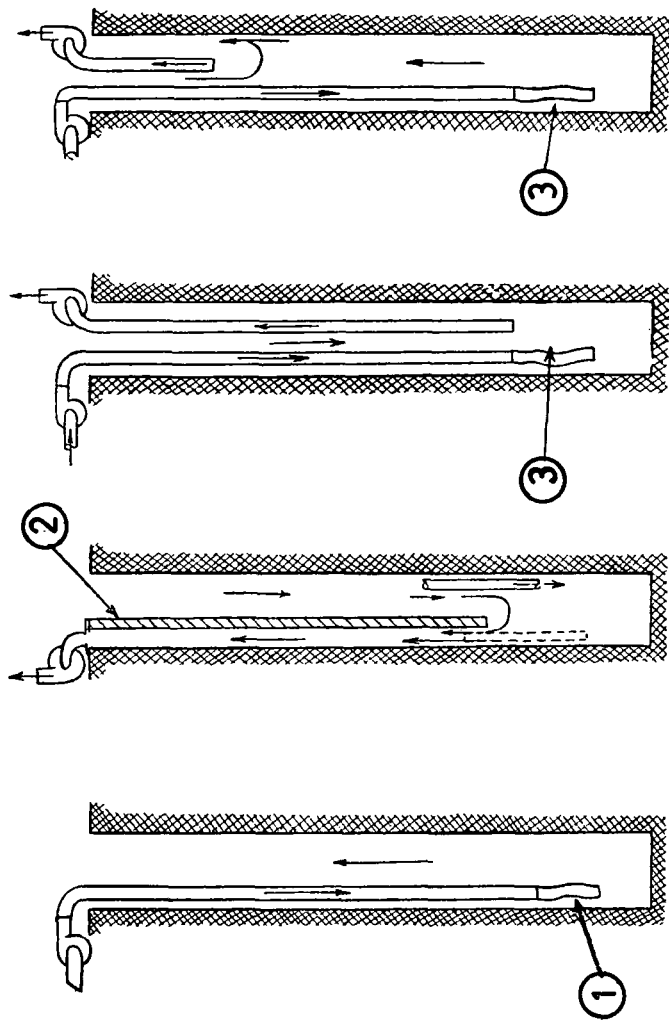


FIG. 25. — Sistemas de ventilación de pozos que se están profundizando.

De izquierda a derecha: Ventilación con conducto de lanzamiento de aire; ventilación con tabique; ventilación combinada con conducto de lanzamiento de aire y un largo conducto de aspiración; ventilación combinada con conducto de lanzamiento de aire y un corto conducto de aspiración.

1: Prolongación de lona o de metal. 2: Tabique. 3: Prolongación de lona o de metal, no imprescindible.

cuadrado de sección, y si el sistema de ventilación es aspirante, la velocidad del aire que desciende al pozo debido a la diferencia de presión que se crea en el fondo no debe ser menor de 0,2 m/s (promedio) sobre toda la sección del pozo, para que el polvo y los humos no suban hacia lo alto, como tienden a hacer debido a las corrientes de convección locales. Cuando el sistema de ventilación que se utiliza es de lanzamiento y aspiración del aire combinados, el volumen de aire aspirado debería ser superior al del aire lanzado al interior en 25 por ciento.

El sistema de lanzamiento de aire mientras están trabajando los equipos de mineros y aspiración del mismo tras las voladuras y por el mismo conducto tiene el inconveniente de todos los sistemas de aspiración, esto es, que no es posible hacer desaparecer rápidamente el polvo y los humos del fondo del pozo a menos que se encuentre la manera de llevar el extremo del conducto a muy poca distancia del fondo. En cambio, dada la gran velocidad de la corriente de aire que se obtiene con el sistema de lanzamiento, se puede lanzar directamente una fuerte corriente de aire sobre la zona de trabajo instalando en el extremo del conducto una pieza corta en forma de cono (boquilla) o una prolongación flexible.

Se deben tomar muy serias precauciones contra el polvo que se produce en las operaciones de perforación (véase el capítulo VII), ya que en la limitada superficie del fondo del pozo pueden estar funcionando veinte o más perforadoras al mismo tiempo. Ciertamente es que el fondo del pozo está frecuentemente recubierto de agua, pero no se debe suponer que esto impide que el polvo producido por la perforación pase a la atmósfera.

Al elegir un ventilador para suministrar aire durante la excavación de un pozo lo primero que se debe tener en cuenta es si puede proporcionar las muy diversas presiones necesarias para mantener el deseado volumen de aire a profundidades cada vez mayores desde que empieza la excavación del pozo hasta que se la termina, porque la resistencia del conducto de aire irá aumentando a medida que se va profundizando el pozo. Para obtener el adecuado rendimiento del ventilador se pueden instalar reductores o reguladores, se pueden modificar la velocidad de rotación

o los elementos de la transmisión o se pueden cambiar de posición las aletas guiadoras.

VIGILANCIA

En algunos países, la ley exige que en ciertas clases de minas, como las de carbón, se designe una persona convenientemente calificada para que se encargue de las cuestiones de ventilación y de prevención del polvo. Esta persona, con los ayudantes que puedan necesitarse, puede hacer mucho por la seguridad y la salud de los trabajadores y puede facilitar el aumento de la productividad. Tener en una mina una persona a la que se han encomendado especialmente estas funciones es asegurarse de que las instalaciones de ventilación y el equipo de lucha contra el polvo se utilizan de la mejor manera posible, y es una de las mejores medidas que se pueden tomar para el eficaz control de las operaciones en que se produce polvo y para proteger a los trabajadores contra sus nocivos efectos.

PLANOS Y REGISTROS

Es sumamente importante establecer planos de las instalaciones de ventilación y abrir registros, manteniendo al día tanto los unos como los otros, porque proporcionan todos los datos de gran utilidad posibles para la supresión del polvo, especialmente datos acerca de la dirección de todas las corrientes de aire, del volumen de aire que circula por las vías principales de ventilación, del lugar donde están situados los ventiladores, los tabiques y las puertas de ventilación, los reguladores y los cruces, y de los lugares exactos donde se está trabajando y las condiciones de ventilación de cada uno de ellos.

CAPÍTULO V

CAPTACIÓN Y FILTRACIÓN DEL POLVO EN EL FONDO DE LAS MINAS

En el capítulo III se ha hablado de la utilización del agua para impedir la formación de polvo y se dijo asimismo que también se la emplea para lograr la precipitación del polvo en suspensión en el aire. Pero los resultados que se obtienen con el agua en el caso del polvo en suspensión no son enteramente satisfactorios, sobre todo cuando se trata de las partículas más finas de polvos nocivos, que son las que principalmente nos interesan, por sus efectos conióticos. Por lo tanto, puede ser necesario utilizar otros procedimientos por los cuales se recoja el aire cargado de polvo con la ayuda de dispositivos de ventilación auxiliar y se lo extraiga de manera que no entrañe ningún riesgo para los trabajadores o se lo filtre para que pueda continuar circulando por las zonas de trabajo de la mina.

Las instalaciones de captación y filtración del polvo se utilizan tanto en la superficie como en el fondo. La diferencia esencial está en que, en el primero de estos casos, el aire residual, una vez que pasa por la instalación, puede ser dispersado en la atmósfera sin peligro, mientras que en el fondo, en la mayor parte de los casos, el aire filtrado seguirá pasando por zonas de trabajo y podrá ser inhalado por los trabajadores. Por lo tanto, la filtración del aire en el fondo tiene que ser más eficaz que la que se efectúa en la superficie, y es preciso que se retengan las partículas más pequeñas. En cambio, las instalaciones de captación del polvo que se utilizan en la superficie suelen ser más complicadas que las utilizadas en el fondo, porque en la superficie se trabaja con muchos tipos de máquinas que producen polvo y porque también son muchos los lugares donde éste se puede desprender, y para combatirlo de

manera eficaz es preciso instalar una intrincada red de tuberías y diversos tipos de campanas, y hay que vigilar atentamente el movimiento del aire.

En el capítulo XII se describirán los métodos y el material empleados en la superficie, mientras que en el presente se hablará de los lugares de la mina donde es probable que se necesite este tipo de material, de la manera de recoger el aire cargado de polvo y de las clases de filtros adecuadas.

LUGARES DONDE SE PRODUCE POLVO

Como se ha dicho anteriormente, en casi todas las operaciones que se efectúan en las minas se produce polvo, y es conveniente captar la mayor cantidad posible de este polvo en el punto de origen para impedir que pase al aire. Pero es inevitable que una parte del polvo que se produce en toda operación minera pase al aire y quede en él en suspensión, y la corriente de ventilación irá recogiénolo y llevando cada vez más a medida que recorre la mina. Si no se libera el aire en el trayecto de parte de este polvo, al llegar a lo alto del pozo de salida o de cualquier otra abertura de salida el grado de concentración del polvo habrá llegado al máximo. En realidad, al ir pasando por la mina, el aire pierde una considerable cantidad de polvo por el proceso natural de sedimentación, pero, aun así, el polvo que en él queda es demasiado. Aun antes de llegar a los frentes de trabajo, el aire que entra en la mina puede pasar por pozos, puntos de carga, vuelco o transbordo de material, galerías de transporte y otros lugares donde se produce polvo, de manera que para evitar su excesiva acumulación en el aire y mantener la concentración del polvo a un nivel aceptable es a menudo necesario eliminar el que se produce en esos lugares. De todos estos lugares donde se produce polvo se habrá de hablar en los capítulos correspondientes, pero por lo que se refiere a la captación y filtración del polvo en seco los más importantes son los lugares donde se vuelcan las vagonetas, los lugares donde están instaladas las cribas, los lugares de carga de skips y los puntos de transbordo.

INSTALACIONES DE ASPIRACIÓN

En principio, lo que se hace en todas las instalaciones de captación de polvo es aislar el lugar donde se lo produce y aspirar constantemente el aire que hay en él. Por lo tanto, para que la cantidad de aire que ha de haber que aspirar no sea excesiva, tanto el número como el tamaño de las aberturas por las que puede pasar aire deben ser los menores posibles. No obstante, la cantidad de aire que habrá de ser aspirada dependerá también de otros factores, entre ellos la clase de operación a que se debe el polvo, la cantidad de polvo producida y las condiciones de ventilación en la boca de entrada del aire o en los alrededores de la roca derribada.

En el caso de las chimeneas de carga de skips, de los basculadores giratorios y de los puntos de descarga y de transbordo suele ser posible aislar los puntos donde se produce el polvo, pero cuando se descargan las vagonetas lateralmente o por el fondo en las cribas y las chimeneas, el espacio libre debe ser lo bastante grande para que quepa por lo menos una vagoneta, y en ese caso el aire debe ser aspirado desde una distancia de entre 3 y 4,5 m, desde un punto situado por debajo del nivel de las vagonetas, de manera que pase de arriba abajo por el basculador y por las cribas arrastrando todo el polvo producido durante las operaciones de descarga. El volumen de aire aspirado debería ser suficiente para obtener una velocidad de 0,65 m/s, por lo menos, a la entrada de los mismos basculadores. Si es inevitable que la corriente principal de ventilación atraviese el punto de descarga de los basculadores, se debería aumentar la velocidad del aire lo bastante para que el polvo sea arrastrado hacia abajo y no llevado por la corriente de ventilación.

Para filtrar el aire procedente de diversos lugares (por ejemplo, en el fondo de un pozo principal de extracción) suele ser conveniente hacer una gran instalación central de filtración unida por tubos conductores a todos los lugares donde es probable que haya polvo. Estas instalaciones son, por lo general, instalaciones permanentes y pueden seguir en uso mientras se siga utilizando el pozo; el filtro se instala en una cavidad donde se puede construir una cámara de ladrillos o de hormigón. Para los basculadores y las

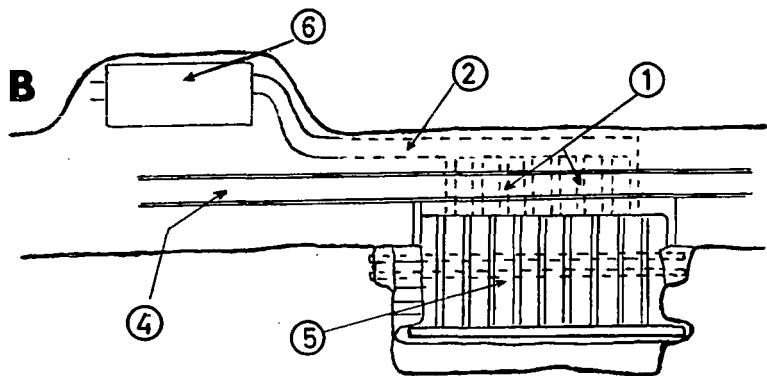
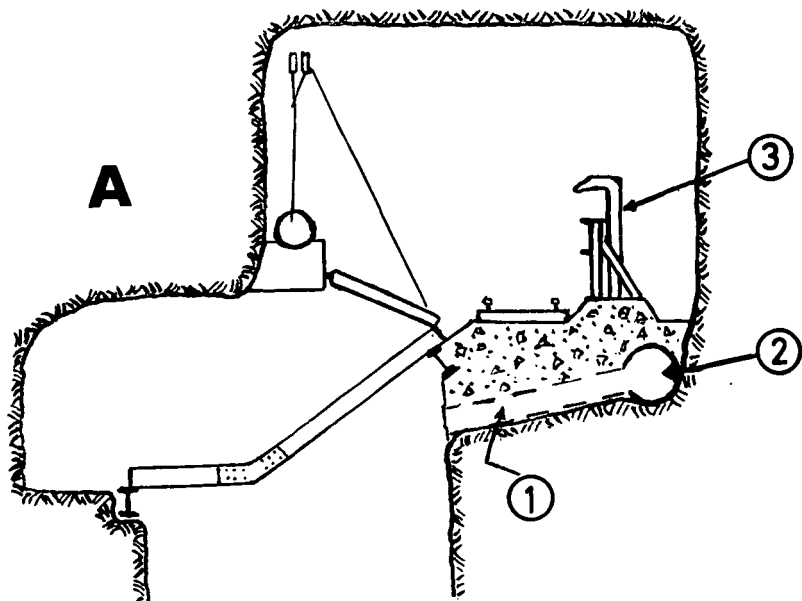


FIG. 26. — Ventilación de un punto de descarga de basculadores y de su cribón.

A: Sección vertical. B: Proyección horizontal.

1: Conductos de aire auxiliares. 2: Conducto de aire principal. 3: Basculador. 4: Railes. 5: Cribón. 6: Cámara donde están instalados el filtro y el ventilador.

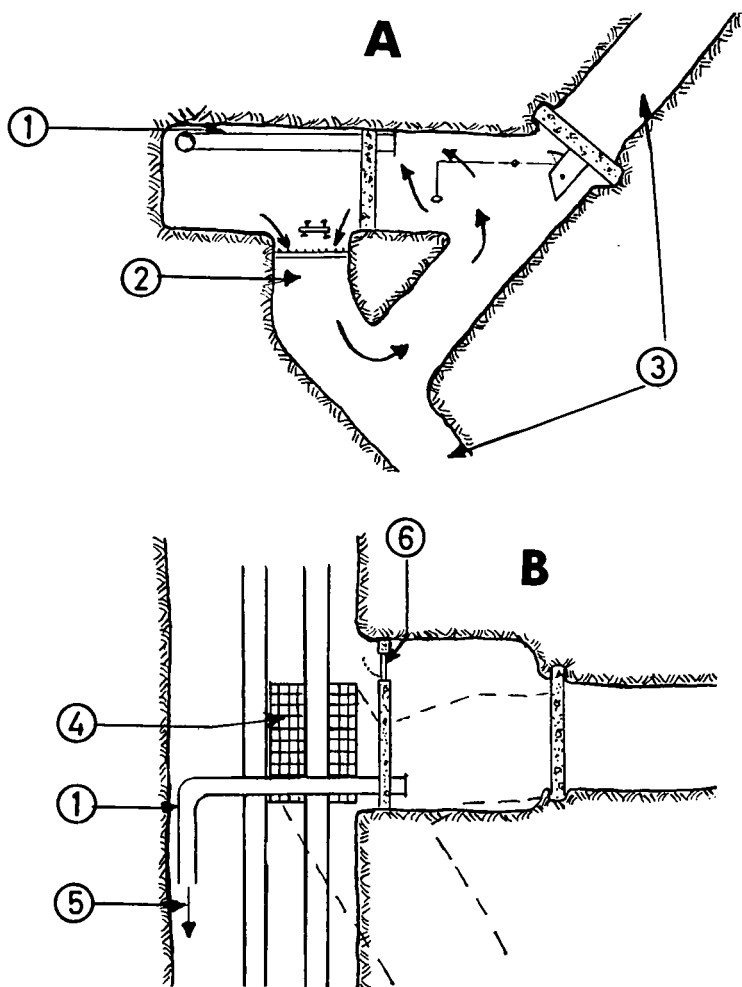


FIG. 27. — Aspiración del polvo en un punto de vuelco del material.

A: Sección vertical. B: Proyección horizontal.

1: Conducto de ventilación. 2: Corriente de aire descendente. 3: Chimenea de paso del material de un nivel al otro. 4: Cribón. 5: Aspiración del polvo hacia el filtro. 6: Puerta de cierre automático.

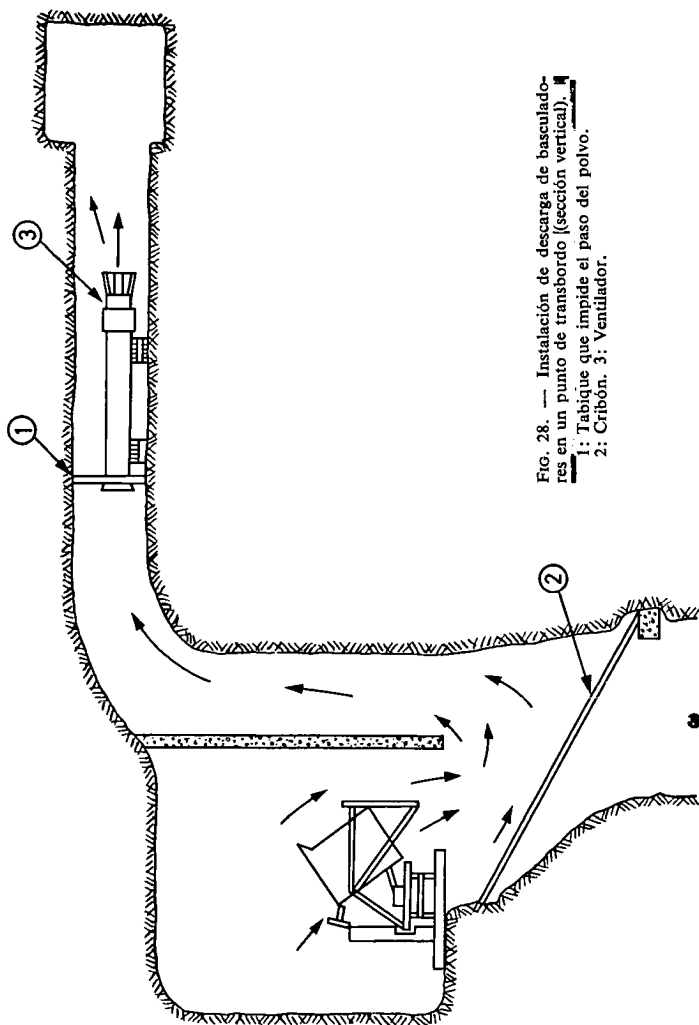


FIG. 28. — Instalación de descarga de basculadores en un punto de transbordo (sección vertical).
1: Tabique que impide el paso del polvo.
2: Cribón. 3: Ventilador.

tolvas más pequeños y más cercanos a las zonas de trabajo, que por lo general se piensa utilizar durante menos tiempo, las instalaciones de captación y filtración del polvo pueden ser más sencillas y en muchos casos se las construye de modo que la instalación completa puede ser trasladada a otro lugar y montada de nuevo. En las figuras 26, 27 y 28 se pueden ver algunas de las instalaciones más corrientes.

FILTRACIÓN DEL POLVO

Una de las principales condiciones que debe llenar un filtro instalado en el fondo de una mina es la de que el aire por él filtrado pueda luego pasar a la corriente principal de ventilación sin que el personal corra por ello ningún riesgo. Sin embargo, cuando se cuenta con las facilidades adecuadas es a veces posible prescindir de los filtros y descargar directamente el aire cargado de polvo en un pozo de salida de aire o en una vía de ventilación ascendente que conduzca a uno de estos pozos. Este sistema de eliminación del polvo es un sistema eficaz y barato, pero si se lo ha de utilizar es preciso asegurarse de que no hay posibilidad alguna de que el aire cargado de polvo perjudique al personal que está trabajando en otros lugares de la mina.

Los filtros para polvo que se utilizan en el fondo de las minas, además de retener eficazmente las partículas de pequeñas dimensiones que pueden ser inhaladas por el ser humano, deben necesitar poca vigilancia mientras están funcionando, de ser posible deben limpiarse automáticamente, y el polvo en ellos acumulado se debe poder recoger o eliminar sin peligro y sin que vuelva a dispersarse por la atmósfera.

Existen varios tipos de dispositivos colectores de polvo que se utilizan en las minas de carbón o de metal, tanto en el fondo como en la superficie:

- a) los colectores mecánicos;
- b) los filtros de tela;
- c) los precipitadores electrostáticos.

COLECTORES MECÁNICOS

Los colectores mecánicos suelen ser colectores centrífugos o ciclónicos, secos o húmedos. Comunican al aire un movimiento vertiginoso que lo acelera, y las partículas de polvo son expulsadas de la corriente principal de aire por la fuerza centrífuga, pudiendo entonces recogerse por gravedad o por otros medios. Como quiera que la eficacia de estos colectores depende principalmente de la velocidad del aire, del diámetro del torbellino, del peso específico del polvo y del grosor de las partículas, es evidente que su acción será selectiva y que las partículas más gruesas han de ser las eliminadas en mayor proporción. En la práctica, son muy pocas las partículas de menos de 10 micrones que eliminan estos colectores ciclónicos, de manera que no son los adecuados para el uso general en el fondo de las minas y sólo se los suele utilizar en la superficie, donde el aire cargado de polvo residual puede ser lanzado directamente a la atmósfera (véase la figura 29).

Hay también colectores mecánicos centrífugos que tienen un ventilador de aspiración incorporado; la fuerza centrífuga lanza el polvo a las aletas del ventilador, y se lo recoge a través de unas aberturas que hay en la caja de éste. Dentro de este tipo de colectores hay modelos más perfeccionados, en los que de una u otra manera se utiliza agua para humedecer el polvo y hacer que se precipite con más facilidad (véase la figura 30). No obstante, ninguno de los modelos hasta ahora existentes elimina las partículas más pequeñas en la medida necesaria para que se los pueda utilizar en el fondo de las minas, y, por consiguiente, donde principalmente se los utiliza es en instalaciones de superficie, y al tratar de estas últimas habrá de hablarse nuevamente de ellos.

Existe otro tipo de colector húmedo que puede ser más eficaz para la eliminación de las partículas de polvo finas, que es el colector térmico humidificador, en que el principio es el siguiente: tras haber humedecido el polvo con agua caliente se hace un rociamiento con agua fría, de manera que el agua se condensa en pequeñas gotas aprisionando las pequeñas partículas, que actúan como núcleos de condensación y que así pueden ser arrastradas. Se

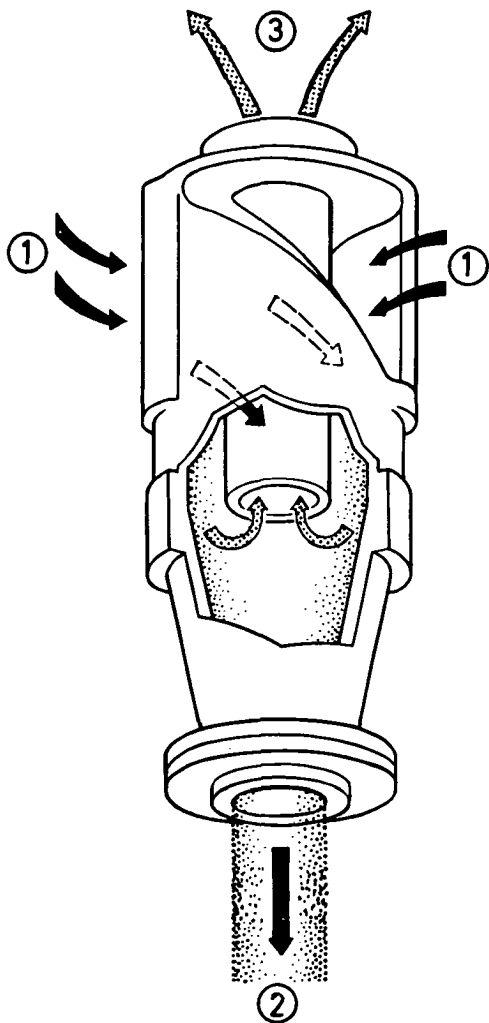


FIG. 29. — Colector ciclónico de polvo en seco.

1: Aire cargado de polvo. 2: Partículas gruesas que caen en un recipiente especial. 3: Partículas finas aspiradas hacia el filtro.

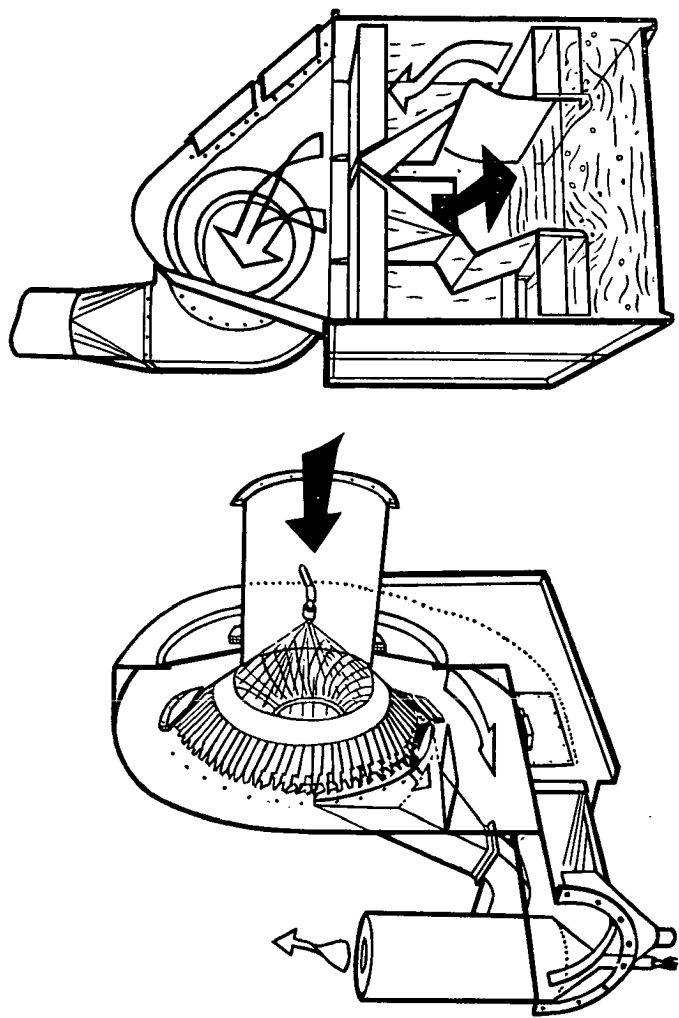


Fig. 30. — Colectores centrifugos de polvo con humidificación.

han utilizado estos colectores en ciertos tipos de trituradoras y han dado buenos resultados, pero faltan detalles acerca de su verdadero rendimiento.

FILTROS DE TELA

Los filtros de tela son los más eficaces para la eliminación del polvo en el fondo de las minas. Son, en principio, bolsas, mangas o tamices de lana, de algodón o de fibras sintéticas. También se han hecho ensayos con fibra de coco, yute y mezclas de diferentes fibras. Las partículas de polvo, al pasar, quedan detenidas en la superficie de minúsculas fibras, y al irse acumulando se convierten en su propio agente filtrante, lo cual explica la facilidad con que se puede limpiar el tejido simplemente sacudiéndolo. No es el tejido en sí el que actúa como un verdadero filtro porque su estrecha trama le dé cierta capacidad de retención del polvo; en realidad, en algunos filtros de este tipo el aire pasa sobre la superficie del tejido, y no a través de él.

Mangas

Hasta ahora, las bolsas¹ o mangas de franela de buena calidad son los tipos de filtros de tela que siempre han dado mejores resultados.

Las mangas pueden ser de gran diámetro y pueden estar dispuestas una a una o por pares, y pueden asimismo ser de corto diámetro y estar dispuestas en serie. Las más grandes pueden estar suspendidas o sostenidas en posición horizontal (véase la figura 31) o vertical, y las más pequeñas suelen estar colocadas verticalmente y se prestan para la instalación de los dispositivos de limpieza automática que se describirán más adelante.

Hay un modelo especialmente ideado para el fondo de las minas que consiste en bolsas o mangas de pequeño diámetro y de hasta 2,5 m de largo, que se instalan en series cuya capacidad

¹ Véanse más detalles sobre las bolsas en la página 97.

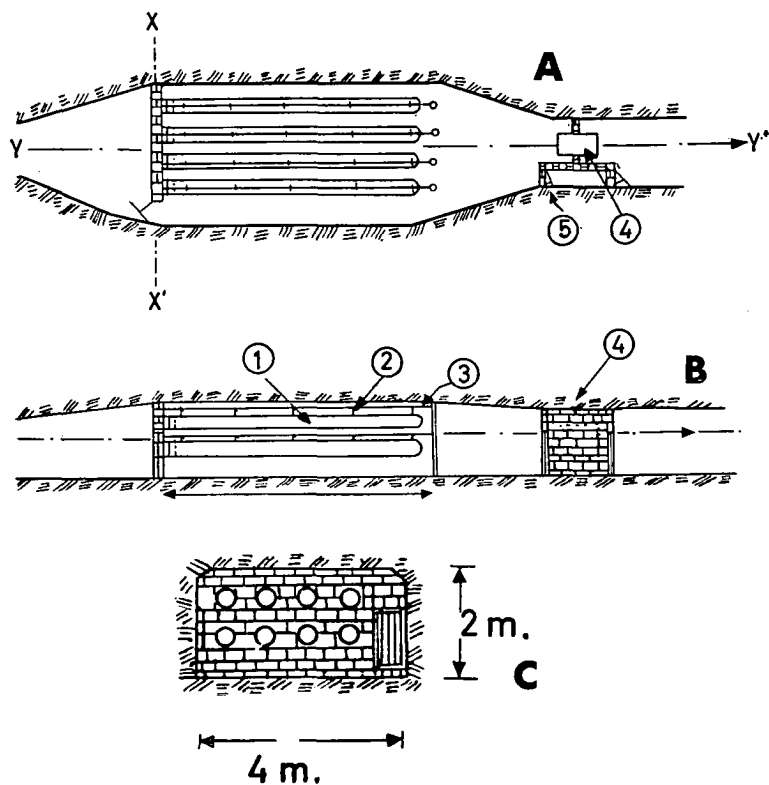


FIG. 31. — Instalación de filtración horizontal de mangas de franela.

A: Proyección horizontal. B: Sección longitudinal en Y-Y'. C: Sección transversal en X-X'.

1: Mangas de franela (610 cm de longitud y 56 cm de diámetro). 2 y 3: Ganchos de suspensión de las mangas. 4: Ventilador. 5: Puertas de la esclusa de aire.

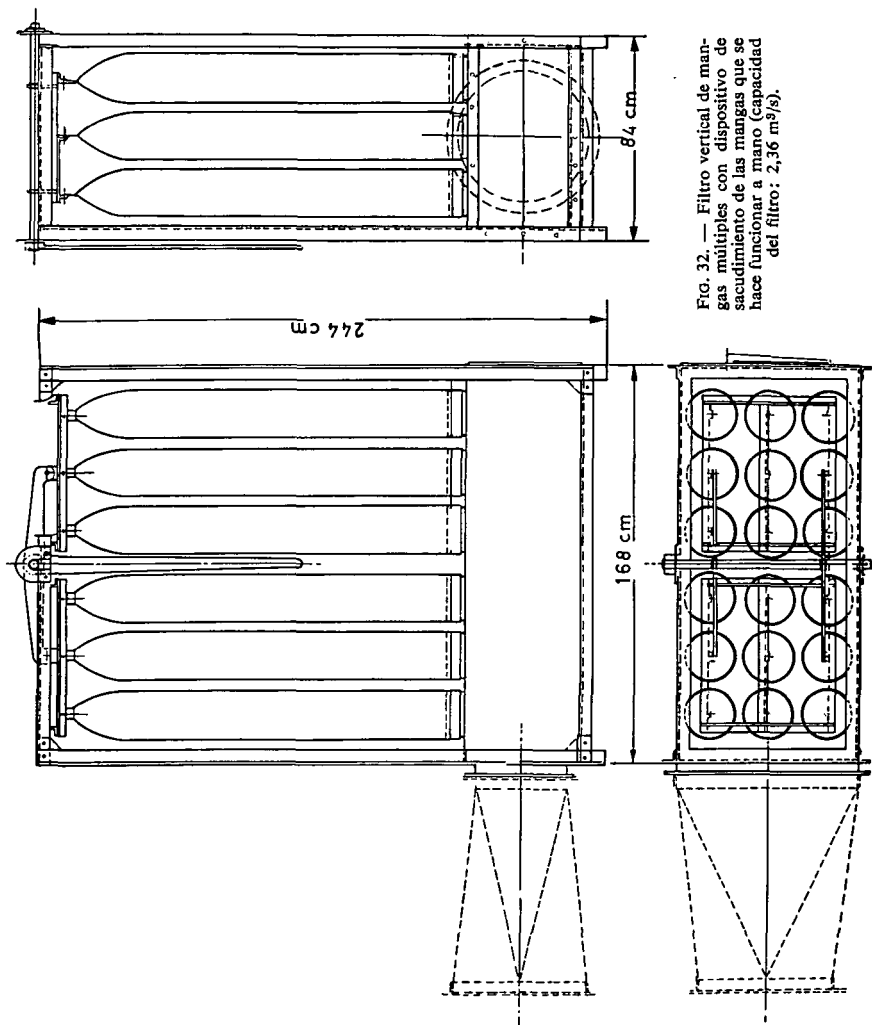


FIG. 32. — Filtro vertical de mangas múltiples con dispositivo de sacudimiento de las mangas que se hace funcionar a mano (capacidad del filtro: $2,36 \text{ m}^3/\text{s}$).

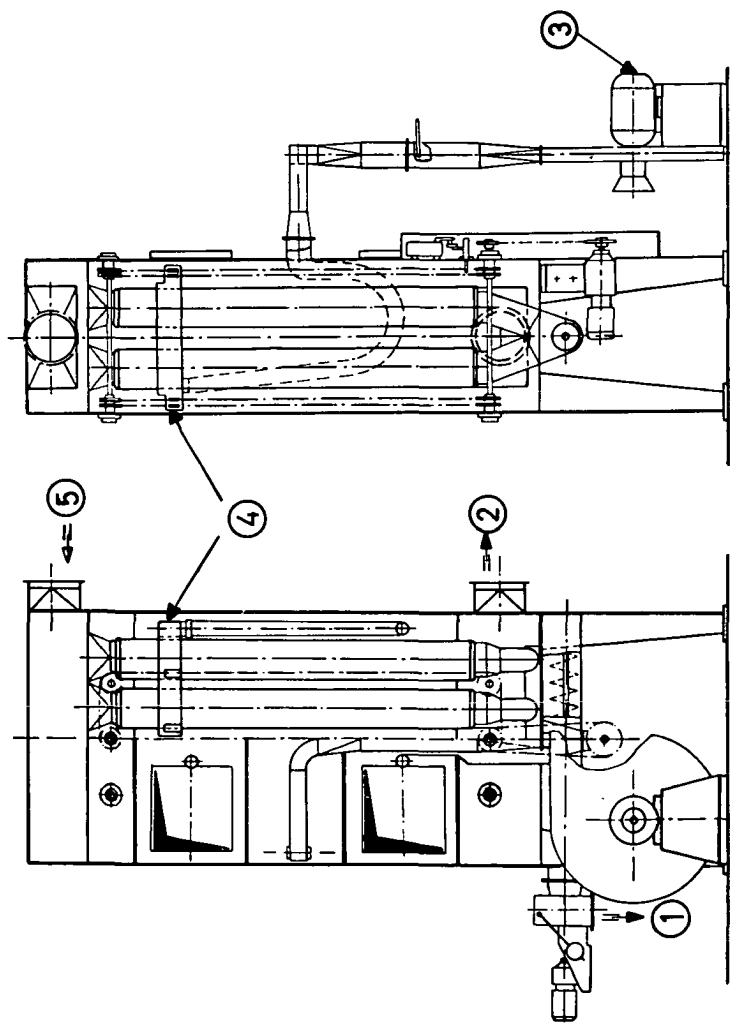


FIG. 33. — Filtro vertical de mangas múltiples con dispositivo de limpieza a aire comprimido.
1: Orificio de salida del polvo recogido. 2: Salida del aire filtrado. 3: Ventilador de lanzamiento de aire. 4: Anillos raspadores. 5: Entrada del aire cargado de polvo.

de filtración es de entre 140 y 700 m³/min, o incluso superior. Las mangas están cerradas en su extremo superior y colgadas de un bastidor móvil al que se puede comunicar un movimiento oscilante, ya sea a mano ya mecánicamente, para hacer pasar el polvo recogido, por el extremo abierto de las bolsas, a un embudo a cuyo interior está dirigida la toma de aire. De ser preciso, en estas instalaciones se puede montar un dispositivo especial que realiza la limpieza automáticamente con la frecuencia que se desee. El embudo se puede limpiar a mano, bajo el chorro del agua o por medio de una cóclea (véase la figura 32).

También se pueden utilizar para la limpieza chorros de aire comprimido lanzados contra el exterior de las mangas, combinados con un sistema de batido mecánico, y se puede instalar un sistema de lanzamiento de aire a presión en esa misma dirección, que limpia incesantemente las mangas mientras están funcionando.

Existe otro procedimiento de limpieza con aire comprimido de las mangas filtrantes mientras están funcionando, que es el de los anillos con ranuras en la cara interior para el paso del aire, que suben y bajan constantemente rodeando las mangas (véase la figura 33). El polvo adherido a la superficie interior del filtro cae al fondo de la manga y es arrastrado por una cóclea. Este sistema permite utilizar la casi totalidad de la superficie de filtración durante el período de funcionamiento. No obstante, recientemente se ha observado que los filtros en que se aplica este procedimiento se desgastan mucho y no duran más de un año, mientras que otros tipos de mangas filtrantes duran mucho más. Donde más dura la tela es en los filtros planos, que no están sometidos a ninguna tensión mecánica.

Sea cual fuere el tipo de filtros que se elija, en todas las instalaciones subterráneas es sumamente importante asegurarse de que mientras se los está limpiando no se está lanzando ningún polvo al circuito de ventilación de la mina.

En muchas cuencas mineras se acostumbra comprar filtros hechos, fabricados por empresas comerciales que pueden suministrar los tipos de filtros más adecuados para el uso que de ellos se quiera hacer, dar consejos técnicos y ayudar a elegir y montar la

instalación, pero en muchas minas puede haber que confiar en el propio personal y en los propios talleres de la empresa para idear y montar la instalación de filtración, y la cuestión tiene muchos aspectos que hay que tener en cuenta y que se indican a continuación.

Instalación.

1. El aire que entra en la instalación se debe distribuir uniformemente entre las mangas o las bolsas, y hay que cuidar de que éstas no vibren. De ser posible, también conviene instalar una cámara de expansión del lado de las mangas por donde entra el aire, porque no sólo se distribuirá mejor el aire, sino que además, con la pérdida de velocidad que se producirá en la cámara, las partículas más pesadas se depositarán por sí mismas y se reducirá la carga de polvo en la tela del filtro; la boca de entrada de aire de esta cámara debería ser la adecuada para que la pérdida de presión no sea muy grande. Con una entrada directa a una cámara rectangular, la pérdida puede ser de hasta el 150 por ciento de la presión dinámica que se registra en el conducto.

2. Las mangas deberían tener ojetes y estar colgadas con ganchos o sostenidas por una red, para que no se desgasten.

3. Se debe evitar que el agua se condense o chorree por el interior o el exterior de las mangas, para lo cual es generalmente conveniente colocar el ventilador de frente a la entrada del filtro, de manera que el aire sea lanzado al interior de las mangas y no extraído de ellas por aspiración, y en esta forma el recalentamiento y el ligero aumento de presión debidos al paso por el ventilador secarán un poco el aire antes de que éste llegue a la tela del filtro.

4. El ventilador se debe elegir teniendo muy en cuenta las circunstancias particulares de cada caso, pero es preferible un ventilador de tipo centrífugo con la potencia suficiente para vencer la resistencia del sistema, a la cual las mangas de franela contribuirán en una proporción de entre 60 y 75 mm de columna de agua, aproximadamente.

Conservación.

1. Se obtiene una idea de la cantidad de polvo recogido en la superficie de la tela del filtro midiendo la diferencia de presión entre la entrada del filtro y la atmósfera ambiente; el aumento de presión será proporcional a la cantidad de polvo recogido. Las mangas que no se limpian automáticamente o a mano durante el funcionamiento de la instalación, una vez llenas de polvo, deberán ser transportadas a la superficie en recipientes herméticos. Las cargas de polvo típicas de 2 a 20 mg/cm³ darían por resultado un aumento de presión de entre 6 y 12 mm de columna de agua por turno de trabajo de ocho horas, y de lo que habría que tratar es de mantener la presión de trabajo por debajo de 50 mm de columna de agua. Cuando la carga de polvo sea muy grande se debería reducir la velocidad de filtración o se deberían limpiar los filtros más frecuentemente, o bien se deberían ajustar entre sí adecuadamente la velocidad de filtración y las operaciones de limpieza. Si la carga es excepcionalmente grande se necesita un dispositivo de limpieza automática o hay que instalar otros tipos de filtros.

2. Después de la limpieza, las mangas deben ser examinadas cuidadosamente y de ser necesario reparadas. El pelo de la franela va desapareciendo con el uso, pero esto no reduce la eficacia del filtro de manera apreciable.

3. Las mangas deberían durar dos o tres años, pero si hay calor y humedad pueden ser atacadas por unos hongos que destruyen rápidamente el tejido.

4. El personal encargado de desmontar y limpiar las mangas debe efectuar estas operaciones protegido con máscaras y en momentos en que el polvo que de ellas pueda desprenderse no pueda perjudicar a ninguna otra persona. Se deberían limpiar las mangas en la superficie y al aire libre, bastante lejos de todo edificio, o de manera que el polvo no pueda causar daño a nadie.

Tratamiento de las telas.

Para conservar la franela del filtro se la puede bañar en una solución al 20 por ciento de naftenato de cobre con 1,5 por ciento de cobre, o bien en una mezcla de sulfato de cobre y carbonato de sodio en solución en la siguiente proporción: 2 kg de cristales de sosa (Na_2CO_3) por cada 22 litros de agua, a lo que se añaden 4,5 kg de cristales de sulfato de cobre disueltos en 130 litros de agua. Si se añade una pequeña cantidad de un agente humectante adecuado, esta mezcla penetrará mejor en el tejido.

Filtros enmarcados

Los filtros planos consisten en un marco horizontal o vertical sobre el cual se tiende la tela que sirve de filtro, dejándola bien estirada. En algunos casos, estos filtros pueden tener la ventaja de que ocupan menos espacio que los otros, pero no se prestan para la instalación en ellos de dispositivos de limpieza automática como los anteriormente descritos. Además, es más difícil cambiar la tela de estos filtros que la de las mangas filtrantes. Para los filtros planos hay que construir instalaciones permanentes, por regla general de ladrillos o de hormigón. Una de las dificultades más grandes es la de ajustar la tela al marco de manera que ni el aire ni el polvo puedan penetrar por su alrededor.

Filtros de bolsa

Las bolsas, generalmente de franela, que en comparación con las mangas tienen un diámetro mayor en relación con su longitud, se utilizan muy frecuentemente. Ya sea separadamente ya por pares, son fáciles de montar y pueden ser utilizadas en instalaciones temporarias. También se las puede instalar por grupos para limpiar grandes cantidades de aire, y en este caso se las debe montar sobre una plataforma de hormigón, de manera que la presión del aire las mantenga infladas. Cuando la instalación de filtración deja de funcionar, las bolsas vienen a caer por dentro del

marco en el que están montadas, dándose vuelta, y el polvo recogido cae en un receptáculo que está debajo de ellas.

Rendimiento de los filtros de tela

Todos los filtros de tela tienen límites de rendimiento mucho más definidos que los filtros mecánicos. El tamaño de las partículas que pueden retener, que depende de la tela con la cual estén hechos, es de entre 0,5 micrones, o menos, y 2 micrones, lo que quiere decir que, dada la naturaleza del polvo que se desprende en las minas, su rendimiento puede ser de más de 99 por ciento. La resistencia de los filtros de tela puede llegar a ser de entre 60 y 100 mm de columna de agua. La capacidad específica depende de la naturaleza de la tela utilizada y del polvo recogido, y puede llegar hasta 7,5 m³/min por metro cuadrado de tela.

Tipos de telas para filtros

Los muchos estudios que se han hecho de las telas para filtros han llevado a la conclusión de que la que mejor retiene el polvo es la franela de pura lana. Las telas de algodón, las telas de fibras sintéticas y otros tipos de telas de filtro no retienen el polvo tanto como las telas de lana. Esto se debe probablemente a que esas telas, excepción hecha de las de algodón, aunque artificialmente trate de hacérselas más rugosas, carecen de las fibrillas que tienen las de lana, que facilitan la formación de una capa filtrante adicional constituida por el polvo que se va depositando en ellas y que hace más eficaz el filtro. La atracción electrostática también parece ser un factor importante. Si se observan al microscopio telas de filtro cargadas de polvo, se advierte que éste penetra más profundamente en las telas de fibras sintéticas que en las de pura lana.

También se ha comprobado que los filtros hechos con telas de lana se pueden utilizar aun cuando el grado de humedad relativa sea elevado, y que aunque éste pase del 90 por ciento no se embarran los filtros. La tendencia a la condensación en estas condiciones

se puede reducir colocando el ventilador antes de la entrada del aire en el filtro.

Además de las telas, se han utilizado en el fondo de las minas algunos otros materiales, como el serrín y la lana de madera.

Los filtros de algodón, los filtros de fibras de celulosa o los filtros viscosos, que se utilizan mucho en la superficie en las instalaciones de acondicionamiento de aire, no son convenientes para el fondo, porque no retienen muy bien las partículas pequeñas.

FILTROS DE SERRÍN

Los filtros de serrín suelen consistir en dos capas de serrín y de residuos de madera de 3 a 12 mm de tamaño de grano, superpuestas, cada una de ellas de alrededor de 4 cm de alto, que descansan, también cada una de ellas, sobre una especie de tamiz inoxidable. El aire pasa por estas capas de serrín de arriba abajo, y la velocidad mejor para la filtración es de 0,3 m/s, aproximadamente. Si la velocidad es mayor tienden a formarse en el serrín pequeños canales, especialmente en los bordes de las capas. La presión debe ser de entre 10 y 15 cm de columna de agua, y cuando se llega a la más alta de estas presiones hay que rociar el serrín con agua y pasarle un rastrillo. El verdadero agente de filtración en estos filtros es el polvo ya recogido en ellos, de manera que no se llega al rendimiento máximo mientras la instalación no haya estado funcionando durante cierto tiempo. Tras el primer período de funcionamiento se puede obviar este inconveniente cambiando una sola capa de serrín por vez (véase la figura 34).

PRECIPITADORES ELECTROSTÁTICOS

Los precipitadores electrostáticos se basan en el fenómeno de la electroforesis: las pequeñas partículas en suspensión en un gas y bajo la influencia de un campo eléctrico tienden a dirigirse hacia el ánodo o el cátodo.

Existen dos tipos de precipitadores electrostáticos. El que más se utiliza en la industria consiste esencialmente en una serie de

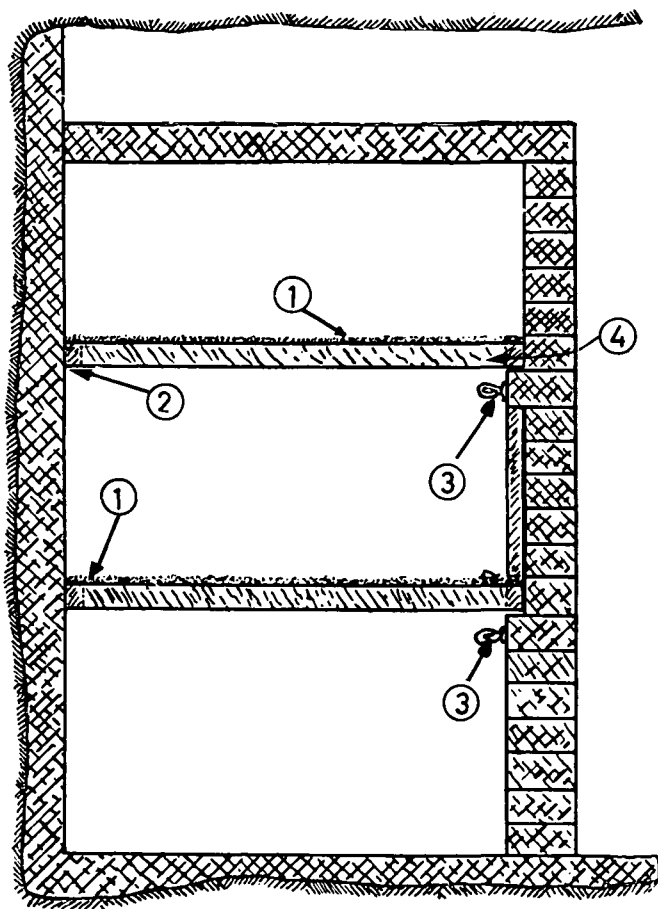


FIG. 34. — Filtro de serrín (sección vertical).

1: Capas de serrín (de entre 3,5 y 4 cm de espesor). 2: Guarniciones que impiden el paso del polvo en cada ángulo. 3: Luces de inspección. 4: Marco de madera que sostiene el tamiz de mallas finas.

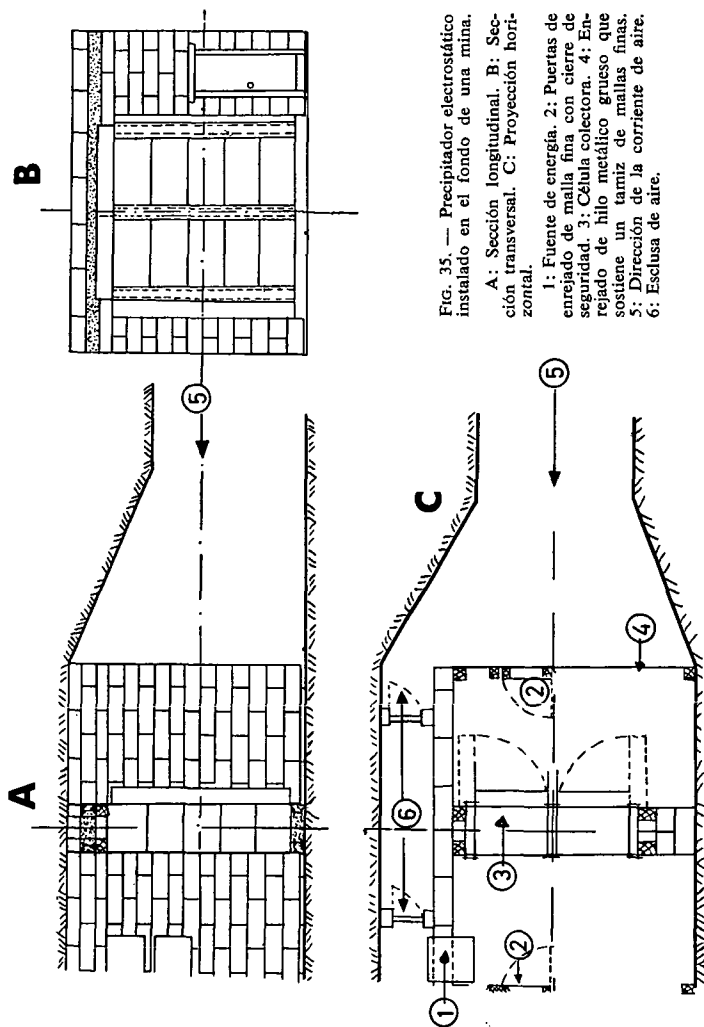


Fig. 35. — Precipitador electrostático instalado en el fondo de una mina.

A: Sección longitudinal. B: Sección transversal. C: Proyección horizontal.

- 1: Fuente de energía.
- 2: Puertas de enrejado de malla fina con cierre de seguridad.
- 3: Célula colector.
- 4: Enrejado de hilo metálico grueso que sostiene un tamiz de mallas finas.
- 5: Dirección de la corriente de aire.
- 6: Escusa de aire.

láminas o de tubos paralelos unidos a tierra, sobre los cuales pasa el aire cargado de polvo. Las superficies de los elementos unidos a tierra (electrodos colectores) rodean a los electrodos constituídos por un hilo metálico llevado a un potencial elevado, generalmente negativo, de 25 a 100 kV e incluso más. Las partículas de polvo quedan depositadas en las láminas unidas a tierra.

El tipo de precipitador electrostático que más se emplea en las minas es el precipitador de dos etapas. En estos precipitadores, el aire cargado de polvo pasa primeramente a través de un ionizador que consiste en una hilera de alambres y de cilindros verticales, alternados y equidistantes, colocados de un lado al otro de la entrada de aire. A los alambres se les da un potencial positivo de unos 13 kV y los cilindros están unidos a tierra. Las partículas de polvo arrastradas por la corriente de aire se cargan eléctricamente en el campo así formado y pasan directamente a la célula colectora, formada por una serie de láminas muy cercanas las unas a las otras, una de cada dos de ellas unida a tierra y la otra con una carga de unos 6 kV. El campo electrostático así creado dirige las partículas cargadas de electricidad hacia las láminas unidas a tierra, sobre las cuales se acumulan. Este tipo de aparato es el que da mejores resultados en el fondo de la minas. Además, no consume mucha corriente y apenas desprende ozono (véase la figura 35).

El polvo precipitado se elimina mediante lavados periódicos o en algunos casos por golpeo o sacudimiento mecánicos. Algunos modelos están provistos de dispositivos de limpieza automática que consisten en una armazón móvil que hace pasar las láminas por un baño.

Estos filtros tienen la gran ventaja de que, como son abiertos, el aire pasa a través de ellos con un gasto mínimo de energía. Además, no se atascan con el uso y, por lo tanto, no tiende a reducirse el volumen de aire que corre por ellos. No son difíciles de limpiar, consumen muy poca energía y, salvo en el caso de los provistos de dispositivos de limpieza automática, todas sus piezas son fijas.

En cambio, estos precipitadores no se deben utilizar en minas

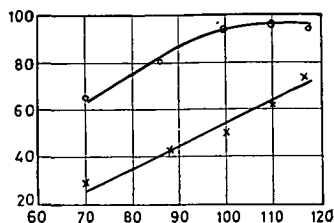
grisuosas o en atmósfera explosiva, ya que pueden producirse arcos eléctricos, especialmente cuando hay mucha humedad. Si es grande la resistencia eléctrica del polvo recogido, éste puede recubrir los electrodos y producir un intenso efecto de corona localizado y una reducción del campo efectivo debida a la acumulación de partículas de polaridad opuesta sobre los electrodos. Y, por el contrario, si el grado de conductividad del polvo recogido es elevado, las partículas pueden perder su carga eléctrica rápidamente al entrar en contacto con la lámina colectora, a la que no se adherirán, y pasarán de nuevo al aire.

Con tal que la velocidad del aire no exceda de lo indicado, los precipitadores electrostáticos son buenos colectores de las partículas más pequeñas, llegando hasta las de 0,1 micrones. La experiencia práctica demuestra que cuando estos precipitadores están bien instalados y conservados, su rendimiento constante puede pasar del 90 por ciento. La gráfica de la figura 36 ilustra la eficacia de estos precipitadores según el voltaje, la velocidad del aire y las características del polvo.

Los precipitadores deben ser instalados por especialistas calificados y teniendo en cuenta las instrucciones del fabricante. Se debería prohibir el acceso a la instalación a las personas no autorizadas, y se debe instalar un dispositivo de seguridad que corte el voltaje automáticamente cuando entra una persona en la cámara donde están los precipitadores. Desde el punto de vista del ingeniero de ventilación, es importante que en la entrada de la instalación se evite toda agitación del aire y que la velocidad de distribución sea uniforme sobre toda la superficie del filtro. También deben tomarse precauciones para evitar los escapes de aire en torno al mismo.

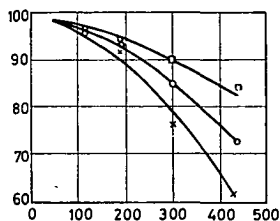
ENSAYO DE LOS FILTROS

Para determinar la capacidad de extracción de una instalación de purificación del aire, especialmente si se la va a utilizar en el fondo de una mina, deben tenerse muy en cuenta diversos factores. Al hacer el pedido debe tenerse presente que su verdadero objeto



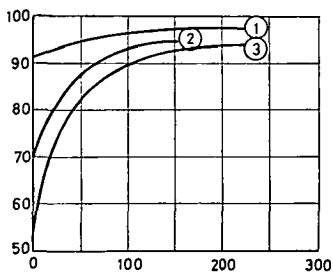
Voltaje

o : Velocidad 1,5 m/s.
x : Velocidad 4 m/s.



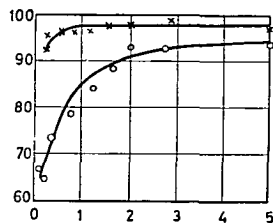
Velocidad del aire (cm/s)

o : Partículas de todas dimensiones.
x : Partículas de menos de 0,5 µ.
□ : Partículas de más de 0,5 µ.



Número de horas

Velocidad del aire: 3 m/s.
Concentración (núm. de partículas por cm³): 1: más de 1.500 ;
2: 500-1.500; 3: menos de 500.



Dimensiones de las partículas en µ

x : Después de 200 h de funcionamiento.
o : 30 h después de la limpieza.

FIG. 36. — Curvas tipo de rendimiento del precipitador electrostático según el voltaje, la velocidad del aire, el período de utilización (para tres grados de concentración del polvo) y las dimensiones de las partículas.

(En ordenada, rendimiento del aparato en porcentaje.)

es suprimir el polvo neumoconiótico. Las garantías de rendimiento, por ejemplo, de los aparatos colectores del polvo que se produce en las instalaciones subterráneas de trituración, no deben nunca referirse únicamente al rendimiento gravimétrico de la instalación. Este principio se aplica en general a todas las instalaciones de depuración del aire del fondo. En efecto, si sólo se tiene en cuenta el rendimiento gravimétrico, la capacidad de extracción parecerá ser de 99 por ciento e incluso más, pero de este modo se pasan casi completamente por alto las partículas respirables de menos de 5 micrones, porque el peso de estas pequeñísimas partículas constituye una parte insignificante del peso total del polvo. Por consiguiente, las garantías de rendimiento deben extenderse al tamaño de las partículas del polvo residual, teniendo también en cuenta la medida en que estas partículas pueden causar la silicosis debido a su composición mineralógica. Es necesario que los aparatos colectores de polvo que se utilizan en el fondo eliminen eficazmente el polvo nocivo, de manera que estén protegidas contra él tanto las personas que trabajan cerca de esos aparatos como las que trabajan en la zona donde descargan el aire.

La capacidad de retención de un filtro, que se expresa, por regla general, en porcentaje y a la que se suele llamar « rendimiento » del filtro, la da la siguiente ecuación:

$$R = (1 - \frac{P_i}{P_o}) \times 100,$$

donde R = rendimiento;

P_i = concentración del polvo a la salida del filtro;

P_o = concentración del polvo a la entrada del filtro.

Al calcular el rendimiento se lo debe expresar en términos de partículas respirables, es decir, aquellas cuyo tamaño es inferior a 10 micrones. Tratándose de polvo de cuarzo, la concentración máxima a la salida del filtro no debe pasar de 200 partículas por centímetro cúbico, si bien cuando se trata de polvo menos peligroso esta concentración puede ser algo mayor.

Para calcular el rendimiento de los aparatos colectores de polvo se necesita una experiencia considerable, y es una tarea que debe ser confiada a personas especialmente calificadas. Para este objeto, el precipitador térmico es uno de los instrumentos más adecuados de muestreo del polvo, tanto por su exactitud como por los datos que puede proporcionar sobre la distribución por tamaños de las partículas componentes.

CONSERVACIÓN DE LOS APARATOS COLECTORES DE POLVO

Por muy grande que sea la eficacia con que se extrae el aire cargado de polvo en los lugares donde éste se desprende y aunque se hayan instalado aparatos de extracción muy costosos, puede ocurrir que el aire que sale de la instalación de filtración contenga una cantidad de polvo considerable. Si la instalación ha sido bien montada, este hecho sólo se puede atribuir a la falta de control y a una mala conservación de los aparatos instalados. Ninguno de los aparatos construidos hasta ahora para la captación del polvo en el fondo de las minas puede funcionar satisfactoriamente durante largos períodos si no se lo cuida como es debido.

Entre otras cosas, se debe vigilar si la tela u otro material de filtro empleado, o los marcos que lo sostienen, están estropeados y dejan escapar el aire cargado de polvo; si se ha obstruido el filtro debido a la excesiva acumulación de polvo o por falta de limpieza; si está obstruida la entrada de aire o han sufrido daños los conductos, reduciéndose así el poder de aspiración en el lugar donde se produce el polvo; si hay un exceso de humedad que estropee la tela del filtro o haga que funcionen mal los filtros electrostáticos, y si el funcionamiento del ventilador es defectuoso. Se deben seguir estrictamente las instrucciones del fabricante. Tanto en la propia instalación como en los conductos se deben abrir tomas para poder medir la presión, ya que estas mediciones indicarán inmediatamente el estado del material filtrante, la existencia de escapes y el buen o mal funcionamiento del ventilador.

Se debería designar una persona calificada para que vigile la instalación de los filtros y se encargue más tarde de controlar su

funcionamiento y su limpieza y de hacer cambiar el material filtrante cuando sea necesario. Esta persona llegará a conocer perfectamente cada instalación y podrá reparar los pequeños desperfectos sin demora. También debería estar encargada de la conservación del equipo mecánico, de su engrase, etc., y de controlar todas las campanas de aspiración, los conductos y otros elementos análogos de la instalación.

CAPÍTULO VI

CONTROL DEL TECHO Y SOSTENIMIENTO

Del buen control del techo depende en gran parte el éxito de las medidas adoptadas para combatir el polvo. El techo siempre tiende a hundirse un poco en la cavidad creada delante de un frente de avance, y el sostenimiento provoca delante del frente un movimiento del techo hacia abajo. Por consiguiente, el material aún no arrancado puede estar sometido a una fuerte presión, la cual, especialmente cuando se trata de carbón, da como resultado la producción de fisuras, que harán que se desprenda una cantidad excesiva de polvo durante las operaciones posteriores de arranque.

En el sistema de explotación por tajos largos, el sostenimiento permanente de las zonas agotadas (por oposición al entibado sistemático del frente y de las galerías) suele hacerse por relleno o estiba. Existen varios métodos de relleno, con la mayor parte de los cuales se produce polvo, de manera que hay que tomar medidas para evitar que la cantidad de polvo producida llegue a ser peligrosa. Un principio básico es el de que el material de relleno que haya de ser transportado o manejado de uno u otro modo se debe humedecer lo bastante para evitar que el polvo se desprenda y quede en suspensión en el aire. Cuando se utilizan aparatos de relleno mecánico también se debe tomar la precaución de desviar la corriente principal de ventilación del punto de relleno.

SUPRESIÓN DEL POLVO EN LAS OPERACIONES DE RELLENO

En las minas de carbón ya se ha abandonado casi por completo el relleno a mano, y generalmente se lo lleva a cabo por métodos mecánicos, salvo en determinadas circunstancias. Los métodos de

supresión del polvo deben depender del método de relleno utilizado y de la naturaleza del material de relleno; por ejemplo, cuando el material proviene del recorte del techo dependerán de la cantidad de agua empleada al hacer las operaciones de recorte. Entre los métodos de relleno aplicados en las minas de carbón están los siguientes:

- a) relleno completo a mano, en mantos poco inclinados;
- b) vuelco del material de relleno, en capas de fuerte echado;
- c) relleno por tuberías, en capas de fuerte y de mediano echado;
- d) relleno centrífugo;
- e) relleno por perforación de falsas galerías;
- f) relleno hidráulico;
- g) relleno neumático.

Relleno completo a mano

Antiguamente, en las capas horizontales y en las poco inclinadas se utilizaba corrientemente el método de relleno completo a mano en las minas de carbón, pero en los últimos años se está utilizando cada vez más el método de relleno neumático y el de derrumbe. Cuando se hace el relleno completo a mano se puede producir polvo al efectuar las siguientes operaciones:

- a) durante la descarga de los basculadores en los lugares fijos de descarga;
- b) durante el transporte del material de relleno;
- c) durante el traspaleo, al hacer el relleno propiamente dicho.

Cuando no se mojaba el material de relleno, estas operaciones producían grandes concentraciones de polvo, pero aun cuando el material esté bien humedecido se puede desprender polvo durante la descarga de los basculadores, sobre todo si ha llegado a secarse la superficie del material de relleno transportado en las vagonetas, y el problema puede ser grave, ya que en una operación de relleno se emplean hasta 250 o 300 vagonetas de material. Por lo tanto,

en todos los lugares de descarga se deberían instalar rociadores para poder regar las vagonetas antes de volcarlas.

Los lugares fijos de descarga donde se desprende mucho polvo deberían ser encerrados y equipados con instalaciones de aspiración y de extracción del polvo.

Si se utilizan transportadores de sacudidas se deberían instalar rociadores con poco consumo de agua (de 2 a 3 l/min, aproximadamente) a todo lo largo del transportador, para lograr la precipitación del polvo. Las dificultades debidas a la adhesión del material de relleno al transportador serán menores cuanto más completamente se haya humedecido el material. Durante el traspaleo, cuando se coloca en su lugar el material de relleno, la respiración de los obreros que manejan la pala es muy profunda debido al esfuerzo que están haciendo, de manera que se acentúa el peligro que para ellos representa el polvo, aunque sea en pequeñas cantidades. En estas condiciones, no sólo habría que asegurarse de que el material está bien humedecido, sino que además habría que establecer un sistema de ventilación que produzca una circulación de aire suficiente en toda la zona donde pueda haber hombres trabajando.

Vuelco del material de relleno

El vuelco del material de relleno en la escombrera en capas de fuerte echado produce enormes cantidades de polvo, a menos que el material haya sido cuidadosa y completamente humedecido. Salvo en casos de absoluta necesidad, cuando se está volcando roca no triturada los trabajadores deberían mantenerse alejados, ya que por muy completamente que se la haya humedecido no se puede impedir que se desprenda una gran cantidad de polvo. La cantidad de polvo es menor cuando se vuelca roca triturada, con la cual, además, el relleno es más compacto.

Las medidas que es necesario adoptar para suprimir el polvo en los puntos de descarga del material de relleno son en este caso las mismas que cuando se hace el relleno a mano, pero los detalles dependerán del tipo de basculador utilizado (elevador, giratorio, lateral, etc.). En los lugares donde se emplean basculadores laterales,

transportadores fijos o transportadores de sacudidas, la cantidad de agua se puede elevar hasta 5 l/min por rociador.

Relleno por tuberías

Las condiciones más favorables para el relleno por tuberías se dan cuando el echado de la capa es de entre 40 y 55 grados. El material de relleno se lleva al correspondiente lugar por un conducto cerrado de 20 a 30 cm de diámetro, y la velocidad con que de él sale, que puede ser de hasta 40 m/s, depende de la longitud del conducto. La cantidad de polvo que se desprende en el punto de salida depende, a su vez, de esta velocidad.

Con este método de relleno se puede desprender polvo en los siguientes lugares:

a) en lo alto del frente, donde se descargan las vagonetas en la chimenea de alimentación de la tubería;

b) si el material de relleno se vuelca previamente y se transporta hasta la tubería, en el basculador, en el punto de transbordo al transportador, en el punto de alimentación del transportador y en el punto de alimentación de la tubería;

c) a la salida de la tubería;

d) en el punto de caída del material de relleno en el talud (donde el grado de concentración del polvo se puede reducir humedeciendo bien el material de relleno).

En el punto de transbordo al transportador se deberían instalar rociadores que lancen entre 3 y 5 litros de agua por minuto, cuidando de que humedezcan bien el material a todo lo ancho del transportador.

A la salida del conducto se debería reducir la producción de polvo instalando la tubería de manera que la caída libre de los materiales tenga la menor altura posible.

Se ha comprobado que es conveniente regar la zona de relleno sin interrupción, para que cuando el material cae sobre el suelo no levante el polvo en él depositado.

También se ha comprobado que conviene aislar la zona de relleno del resto de la zona agotada mediante un tabique de tela que no deje pasar el polvo. Este tabique se debería extender unos 30 o 40 metros más allá del punto de descarga del conducto. Estos tabiques también se utilizan en el relleno neumático, y se hablará más detenidamente de ellos al tratar de este procedimiento de relleno.

Con las medidas que se acaban de indicar se podrá reducir considerablemente la producción de polvo en el relleno por tuberías, pero no siempre bastarán para reducir el polvo residual a cantidades no peligrosas, de manera que se deberían controlar muy cuidadosamente estas operaciones, tomando regularmente muestras del aire.

Relleno centrífugo

Para que el relleno centrífugo sea posible, la capa debe tener un espesor mínimo de 1,5 m, dada la altura de la máquina centrífuga que lanza el material de relleno. Este método no es muy utilizado, pese a que con él no se producen grandes concentraciones de polvo. Aparte de que su campo de aplicación es limitado, esto se debe probablemente a que con ciertos tipos de máquinas centrífugas no se pueden llevar a cabo simultáneamente el arranque y el relleno. A pesar de esto, siempre que lo permitan las condiciones de explotación se debería tratar de utilizar el procedimiento de relleno centrífugo.

Si el material cargado en la máquina está seco o no está suficientemente humedecido se pueden formar grandes concentraciones de polvo. La mejor manera de evitarlo es humedecer el material en el macizo por medio de rociamientos, no tanto que dificulte el buen funcionamiento de la máquina o el adecuado asentamiento del material de relleno, pero sí lo suficiente para que la mayor proporción posible de partículas finas de polvo estén aglomeradas en el momento en que la máquina expulsa el material. Es evidente que también conviene desviar las corrientes de ventilación del punto donde se realiza el relleno.

Relleno por perforación de falsas galerías

Al hacer el relleno por perforación de falsas galerías, el material se obtiene de cortes hechos en las galerías por perforación o voladura. Este procedimiento ya no se utiliza mucho en las minas de carbón, pero sí se lo utiliza con frecuencia en las minas de metal, donde se hacen perforaciones en los techos o en los muros cuando hay que hacer un relleno sistemático.

El polvo se produce sobre todo durante la perforación y las voladuras, y de las precauciones que hay que tomar al efectuar estas operaciones se hablará en los capítulos VII y VIII. El polvo que se produce durante el traspaleo y el apisonamiento del material arrancado por voladura se puede combatir con agua, de preferencia en rociamientos. El peligro que entraña el trabajo suele ser mayor debido a la mala ventilación de las zonas de relleno, que hace todavía más difícil la eliminación del polvo o la reducción del grado de concentración del mismo.

Relleno hidráulico

En el sistema de relleno hidráulico, el material se lleva a la zona donde se lo va a utilizar por medio de tuberías, por las que va arrastrado por una corriente de agua cuyo volumen es generalmente igual al del material arrastrado. Por lo general, el material y el agua se mezclan en la superficie.

Desde el punto de vista de la producción de polvo, éste es el mejor de todos los métodos de relleno. No obstante, el sistema de relleno hidráulico sólo se utiliza en las cuencas carboníferas donde las capas son espesas. La aplicación de este método está limitada no sólo por los inconvenientes que presenta la gran cantidad de agua que en él se emplea, tanto por lo que se refiere a la explotación como a la seguridad, sino también por las ventajas técnicas y económicas que ofrecen otros métodos. Sin embargo, cuando las condiciones de una mina lo permiten, convendría muchísimo recurrir al relleno hidráulico, porque con él es poco probable que se produzca polvo.

Relleno neumático

El sistema de relleno neumático es uno de los más utilizados. Consiste en proyectar las tierras por medio de un chorro de aire comprimido. Este sistema permite llevar el material de relleno al lugar donde se lo va a utilizar sin que haya que interrumpir las operaciones que se efectúan en el frente, tales como el arranque, el transporte y los traslados de equipo; de aquí que cada vez se lo utilice más en los frentes mecanizados. Además, el material de relleno puede ser amontonado en forma compacta hasta el techo y muy pronto soporta la presión del terreno, de manera que se reduce la cantidad de polvo producida por los desplazamientos de éste. Aunque las concentraciones de polvo observadas en distintas instalaciones en que se han hecho muestreos son muy diferentes, puede afirmarse, en términos generales, que en la actualidad la producción de polvo en los frentes donde se utiliza el sistema de relleno neumático es mucho mayor que en aquellos donde se utilizan otros sistemas. Por lo tanto, si el relleno es neumático adquieren especial importancia las medidas de prevención del polvo.

El peligro que entraña este método de relleno, desde el punto de vista de la producción de polvo, aún no es perfectamente conocido, ya que muchas de las máquinas de relleno neumático son de reciente introducción. Además, el mecanismo de supresión del polvo mediante el agua parece ser en este caso más complicado que los aceptados para otras operaciones en las que se produce polvo. Al parecer, mucho depende de la naturaleza del material de relleno empleado y de la cantidad de agua utilizada. También debe prestarse una atención especial a los diferentes tipos de instalaciones de relleno y a las condiciones de funcionamiento.

Cuando se utiliza el sistema de relleno neumático, el polvo se produce principalmente:

- a) durante el transporte del material de relleno hasta la máquina;
- b) en la propia máquina;
- c) a la salida del conducto de relleno;

d) en la zona barrida por el chorro de aire que sale del conducto de relleno.

Materiales de relleno.

El material que se utiliza para el relleno neumático suele provenir de excavaciones o de trabajos preparatorios hechos en roca estéril, o suele ser material de desecho procedente de las trituradoras, de los lavaderos de mineral, de las mesas de estrío o de las escombreras. También se emplean las cenizas de las calderas y la escoria granulada de los altos hornos, pero estos últimos materiales siempre se deben mezclar con algún otro, a causa de sus fuertes efectos abrasivos sobre los conductos y las instalaciones de relleno. Aunque el material se elija algunas veces por sus propiedades de relleno, de ordinario se utilizan los materiales que se tienen a mano. No obstante, desde el punto de vista del peligro para la salud, la composición mineralógica del material tiene gran importancia. Así, por ejemplo, si se utilizan tierras que contienen cuarzo se debería tomar toda clase de precauciones. Cabe señalar a este respecto que se ha comprobado que las nubes de polvo en suspensión que se forman en las operaciones de relleno neumático contienen una mayor proporción de partículas de 1 a 5 micrones que las que se producen en la mayor parte de las demás operaciones.

La cuestión del contenido de agua de los materiales de relleno tiene gran importancia, ya que se ha comprobado que existe un límite en la cantidad de agua necesaria para aglomerar las partículas de polvo, límite que varía según el material empleado y que depende en gran medida de su grosor y de su porosidad. Por este motivo, puede ocurrir que en algunos casos sea necesario mezclar materiales previamente humedecidos con materiales secos. Según datos recientes, los mejores resultados, desde el punto de vista de la lucha contra el polvo, se obtienen empleando un material de relleno que contenga entre 4 y 8 por ciento de humedad.

Además del contenido en agua del material de relleno, la capacidad de aglomeración de las partículas desempeña un importantísimo papel en la formación de polvo. Si el material de relleno tiene un alto grado de cohesión tenderá a reducirse la

formación de polvo en suspensión en el aire en la zona barrida por el chorro de aire que sale del conducto de relleno, mientras que si el grado de cohesión del material es bajo la concentración de polvo tenderá a ser mayor. De aquí que se deba tratar de emplear un material de relleno que contenga gran proporción de partículas finas de arcilla y de grosor bastante uniforme.

La gráfica de la figura 37 ilustra la relación que existe entre la producción de polvo durante el relleno neumático, el contenido en agua del material de relleno y el grado de cohesión de éste.

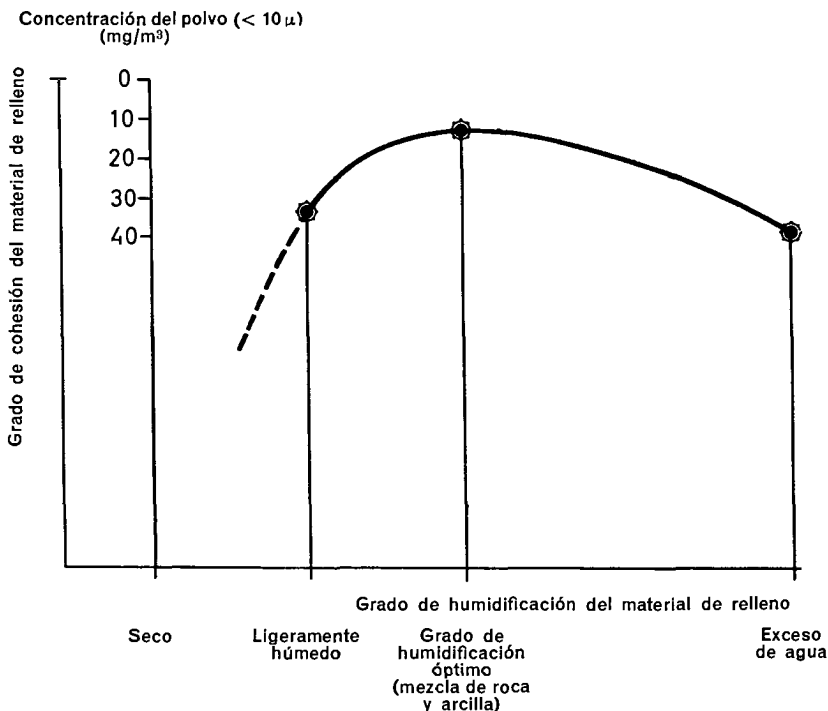


FIG. 37. — Relleno neumático: curva de variación de la producción de polvo según el grado de humidificación y el grado de cohesión del material de relleno.

Supresión del polvo.

Tras la elección del material de relleno se deberían examinar atentamente las distintas formas en que se puede formar polvo durante el relleno neumático y cómo se lo puede combatir o suprimir.

A este respecto, conviene muy especialmente mantener las máquinas rellenas en perfectas condiciones de funcionamiento, y sobre todo, en las máquinas neumáticas, evitar los escapes, que dan origen a un excesivo y anormal desprendimiento de polvo.

Transporte del material de relleno.

Durante el transporte del material de relleno desde las trituradoras o los lavaderos hasta la máquina rellena puede producirse polvo si el material no ha sido bien humedecido. Es particularmente importante humedecer por completo el material cuando lo que se emplea es roca triturada. La duración del transporte en las vagonetas debería ser lo más breve posible, para que no se seque el material. Por la misma razón, no se deben dejar las vagonetas detenidas en el trayecto. En cada basculador se debería montar una instalación de rociamiento para poder regar el material, antes de volcarlo y mientras se lo está volcando, con rociadores que pulvericen finamente el agua. Los rociadores empleados para regar las vagonetas deberían formar una cortina de agua pulverizada que abarque toda la anchura de éstas. A una presión de 3 a 5 kg/cm², el consumo de agua podrá llegar a ser de entre 15 y 20 l/min. Los que se utilizan mientras se está volcando el material deben lanzar el agua en dirección al material que se está descargando y asegurar un riego eficaz en toda la anchura de la cortina de agua que lanzan. Para llenar estas condiciones deberían bastar dos o tres rociadores que lancen 5 l/min cada uno a la presión anteriormente indicada.

Como la mayor parte de los basculadores utilizados en las operaciones de relleno automático no están encerrados bajo una cubierta que los aisle, las medidas de que se acaba de hablar adquieren suma importancia si se quiere evitar la formación de

polvo en los lugares donde se vuelca el material. Si estas medidas se aplican correctamente, no debería producirse más polvo durante el resto del trayecto hasta la máquina rellenadora.

Tipos de máquinas rellenadoras.

La cantidad de polvo producida por la rellenadora depende del tipo de máquina empleado. Desde este punto de vista, los mejores resultados se obtienen con las máquinas rellenadoras dotadas de cámaras. Las que tienen una sola cámara tienen el inconveniente de que, por razones de funcionamiento, es preciso interrumpir el relleno en determinados momentos, lo cual tiene malas consecuencias en el frente de arranque, de las que se hablará más adelante.

En este aspecto, son mejores las máquinas con dos o tres cámaras. Estas máquinas no producen polvo, ya que están construidas de manera que la corriente de aire pasa sobre el material de relleno cuando éste está encerrado en la máquina. No obstante, la altura de todas estas máquinas es relativamente grande, y ésta es probablemente la razón por la cual se las utiliza con menos frecuencia que las rellenadoras neumáticas dotadas de cangilones. Con las rellenadoras de este último tipo se produce polvo en la tolva de alimentación y en la salida de aire, en cantidades que pueden ser muy grandes cuando se desgasta la rueda o el cárter de la máquina. Sin embargo, estas máquinas, por su pequeña altura y por la facilidad con que se las puede cambiar de lugar, son mucho más utilizadas que las máquinas de cámaras. Si se elige un modelo de este tipo conviene asegurarse de que no deja pasar el polvo y cambiar o reparar inmediatamente las piezas que se desgastan.

Si bien con los nuevos tipos de máquinas rellenadoras cabe esperar que disminuya la producción de polvo, en la mayor parte de las máquinas dotadas de cangilones que se emplean actualmente se deberían montar dispositivos de captación del polvo, a menos que se las pueda instalar del lado del frente de talla de retorno del aire.

Las figuras 38 y 39 representan dos instalaciones de extracción del polvo para máquinas rellenas.

La primera es una instalación de captación del polvo en seco, parecida a las que se utilizan en las operaciones de perforación. El polvo se aspira en la tolva de alimentación de la rellena, que está parcialmente aislada y en la que se hallan las bocas de los conductos de aspiración de la instalación de captación del polvo.

En el segundo caso, la tolva de alimentación está cubierta, dejándose únicamente una abertura por la cual el encargado de la máquina puede vigilar la entrada del material. Por medio de un conducto de aspiración que tiene un ventilador incorporado, el aire cargado de polvo es aspirado y enviado a una bolsa donde queda recogido el polvo. Esta bolsa se cambia cada dos o tres días y se envía a la superficie, donde se la limpia, de ser posible con un aparato aspirador de polvo.

Descarga del material en el lugar de relleno.

La formación de polvo a la salida de la tubería de relleno dependerá hasta cierto punto de la longitud y del diámetro del conducto, del número de codos y de la presión o el volumen del aire.

Los estudios que hasta ahora se han hecho acerca de la influencia de la longitud y del diámetro del conducto sobre la formación de polvo no permiten llegar a una conclusión definitiva, y sigue habiendo diferentes opiniones respecto de la influencia del diámetro del conducto y de las variaciones del consumo de aire sobre el rendimiento de las rellenas neumáticas.

No obstante, se puede afirmar, en términos generales, que si se emplea un material de relleno adecuado, que llene las condiciones que anteriormente se indicaron, el diámetro y la longitud del conducto de relleno no tienen mucha importancia. En efecto, se ha observado que cuando el material de relleno está bien humedecido la concentración de polvo varía muy poco, sea cual fuere la longitud del conducto.

Por el contrario, el sistema de carga de la máquina rellena tiene mucha importancia. Si el material se introduce en el conducto

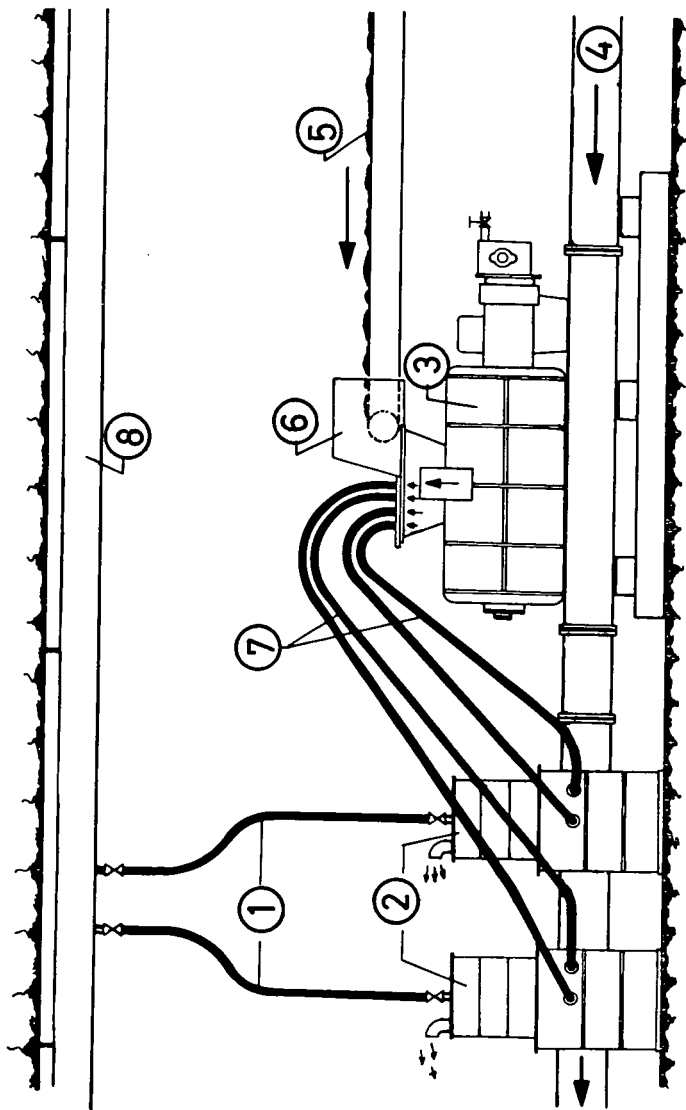


FIG. 38. — Máquina rellenaora neumática con dispositivo de captación del polvo por aspiración.
 1: Tuberías de aire comprimido. 2: Colector de polvo en seco. 3: Máquina rellenaora. 4: Conducto de relleno. 5: Trans-
 portador de correa. 6: Cámara de aislamiento. 7: Tubos de aspiración. 8: Tubería de la red general
 de aire comprimido.

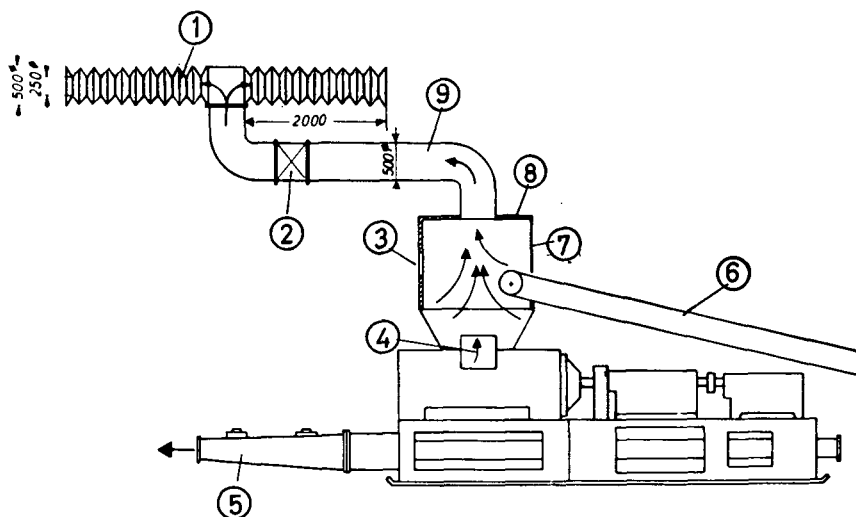


FIG. 39. — Captación de polvo en una máquina rellena con cangilones (dimensiones en mm).

1: Filtro tubular de lana. 2: Ventilador. 3: Ventana de observación. 4: Entrada de aire en la tolva. 5: Conductor de relleno. 6: Transportador de correa. 7: Cortina de caucho. 8: Cámara de aislamiento de la tolva. 9: Conductor de material plástico.

de aire comprimido a un ritmo uniforme, no se produce ningún aumento en el consumo de aire ni en la cantidad de polvo depositado que se levanta y pasa al aire, como ocurre tras las interrupciones en la circulación del aire. Deben evitarse las largas interrupciones durante el relleno, porque el material que queda depositado sobre la superficie interna del conductor se seca, y cuando se reanuda la operación de relleno se puede desprender una gran cantidad de polvo. En estos casos, si el conductor es horizontal o ligeramente inclinado da buenos resultados la introducción de agua en el conductor antes de reiniciar el relleno. El operario encargado de la máquina rellena puede variar la relación entre el aire comprimido y el material de relleno, y de este modo deter-

minar en gran medida la cantidad de polvo que se ha de producir, y debe tratar de mantener el consumo de aire comprimido lo más bajo posible. Por consiguiente, las máquinas rellenadoras sólo se deberían confiar a operarios capacitados y con sentido de la responsabilidad.

Las medidas que se toman para reducir la cantidad de polvo que se produce a la salida de la tubería de aire comprimido mediante un nuevo rociamiento no suelen dar sino resultados parciales cuando el material de relleno es arenoso y no está suficientemente humedecido. Se reducirá un poco la producción de polvo si es pequeña la distancia entre la salida del conducto de relleno y la zona de relleno propiamente dicha.

Protección de los alrededores de la zona de relleno.

Hay que tomar medidas para evitar la formación de polvo en el punto de caída del material de relleno y en el sector barrido por el chorro de aire. El material de relleno que sale de la tubería a gran velocidad, al chocar contra el muro o el techo hace que se levante polvo. También levanta cierta cantidad de polvo el aire que sale del conducto. Este polvo en suspensión es arrastrado hacia los frentes de arranque por la corriente de aire que sale del conducto, que es de gran volumen, y si no se toman las medidas necesarias puede ser llevado a lo largo del frente por la corriente de ventilación y constituir un nuevo riesgo para las personas que allí trabajan. Para evitar que esto suceda se pueden tomar las siguientes medidas:

1. Antes de iniciar el relleno se regará abundantemente la zona de relleno con un rociador de largo alcance que produzca una cortina de agua de caída lenta. El rociamiento se debe regular según vayan adelantando las operaciones de relleno.

2. Se aislará adecuadamente la zona de relleno del frente de arranque, mediante un tabique de tela gruesa y tupida tendido a una distancia de entre 20 y 30 metros más allá de la boca de descarga del conducto de relleno.

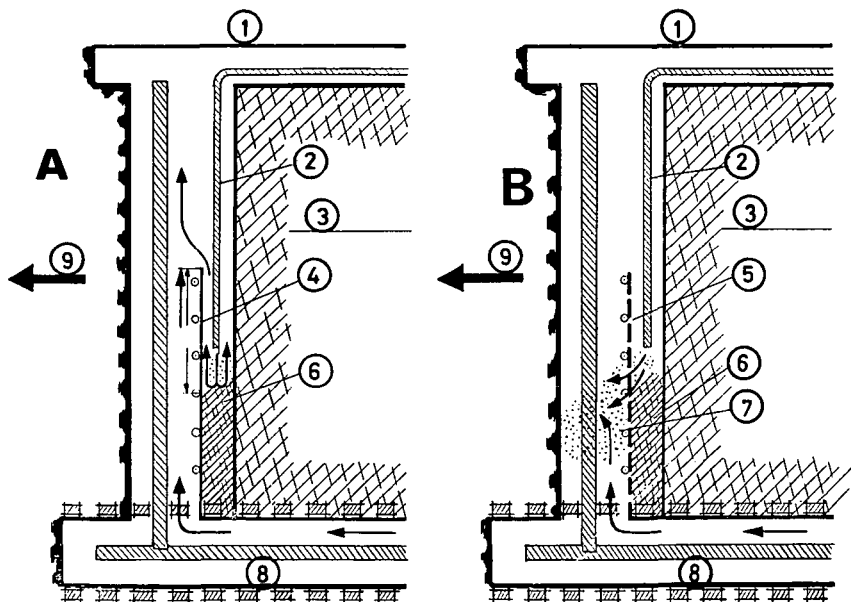


FIG. 40. — Relleno neumático con utilización de tabiques de ventilación.

A: Utilización de un tabique de tela tupida que evita la dispersión del polvo. B: Utilización de un tabique de tela metálica que permite la contaminación del aire.

1: Galería. 2: Conducto de lanzamiento de aire. 3: Relleno neumático. 4: Tabique de tela tupida. 5: Tabique de tela metálica. 6: Relleno que se está efectuando. 7: Zona contaminada. 8: Galería del transportador de correa. 9: Dirección del avance.

3. Se fijará un dispositivo proyector de un chorro de agua al extremo del conducto (véase la lámina III).

De este modo, la zona de relleno quedará aislada del frente, y el polvo que se levante, así como también parte del polvo arrastrado por la corriente de aire que sale del conducto, podrá depositarse. Además, de esta forma se evita toda perturbación de la corriente de ventilación por el chorro de aire que sale del conducto, ya que éste tendrá espacio suficiente para perder su

turbulencia o cambiar de dirección, tomando la de la corriente de ventilación.

En las ilustraciones de la figura 40 podrán verse los diferentes efectos de estos tabiques, según estén hechos con tela metálica ordinaria o con tela impenetrable al polvo, sobre la corriente de ventilación y el polvo que se haya producido.

DERRUMBE

El derrumbe sistemático del techo tiene la gran ventaja de que no es necesario transportar ningún material de relleno. Especialmente en las capas horizontales, el derrumbe y el relleno neumático son los métodos que más se utilizan. Por lo que se refiere a la formación de polvo, el derrumbe se considera más seguro que el sistema de relleno neumático, siempre que el techo venga abajo regularmente a medida que avanza el frente, pero de no ser así, y si se tienen que hacer voladuras para echar abajo el techo, se levanta una gran cantidad de polvo. La formación de polvo, en cantidades que pueden ser muy diferentes, se puede atribuir a las siguientes causas:

- a) el efecto de trituración de los movimientos del techo antes de su caída;
- b) la caída del techo y su fragmentación;
- c) el levantamiento del polvo depositado sobre el suelo en el momento de derrumbarse el techo.

El grado de concentración del polvo depende principalmente de los siguientes factores:

- a) de la naturaleza del techo y de la extensión de cada derrumbe (si el techo está formado por roca blanda, la cantidad de polvo producido por el derrumbe será menor que si el techo es de gres duro);
- b) del espesor de la capa, que determina la altura de la caída libre del techo;
- c) de la longitud del frente;

- d) de la rapidez de avance;
- e) de la ventilación.

La gráfica de la figura 41 indica las diferentes condiciones, por lo que atañe a la producción de polvo, en una capa espesa con techo de gres y en una capa delgada con techo esquistoso, cuando se saca el entibado.

Se puede reducir la cantidad de polvo producida por la caída del techo tomando las siguientes medidas:

- a) rociamiento del muro en la zona de la cual va a retirarse el entibado y en la zona de derrumbe;
- b) aislamiento de la zona de derrumbe mediante cortinas de agua pulverizada.

Si la zona de derrumbe está bien humedecida, la formación de polvo se puede reducir en 30 o 40 por ciento.

El aislamiento de la zona de derrumbe con cortinas de agua se efectúa de esta manera: antes de retirar el entibado se instalan rociadores adecuados, de agua sola o bien de aire y agua, en una de las filas de entibos, a lo largo del frente, delante de cada uno de los equipos de derrumbe y dirigidos hacia la zona de derrumbe; la cortina de agua pulverizada producida por los rociadores debe cubrir toda la altura del frente, de ser posible, y extenderse hasta la zona de derrumbe. Así, gran parte del polvo levantado por los equipos se precipitará.

La figura 42 muestra una buena manera de colocar los rociadores.

Los rociadores que se utilizan para combatir el polvo durante las operaciones de derrumbe deben llenar las siguientes condiciones: su zona de rociamiento debe estar perfectamente definida; deben pulverizar muy finamente el agua; la longitud y la anchura del chorro de rociamiento deben ser suficientes para que en el punto en que se lo utiliza se pueda aislar completamente la zona situada entre el frente de talla y el sector de derrumbe. Además, los rociadores no deberían producir neblina, a menos que ésta se deposite con mucha rapidez, para que no produzca molestias a

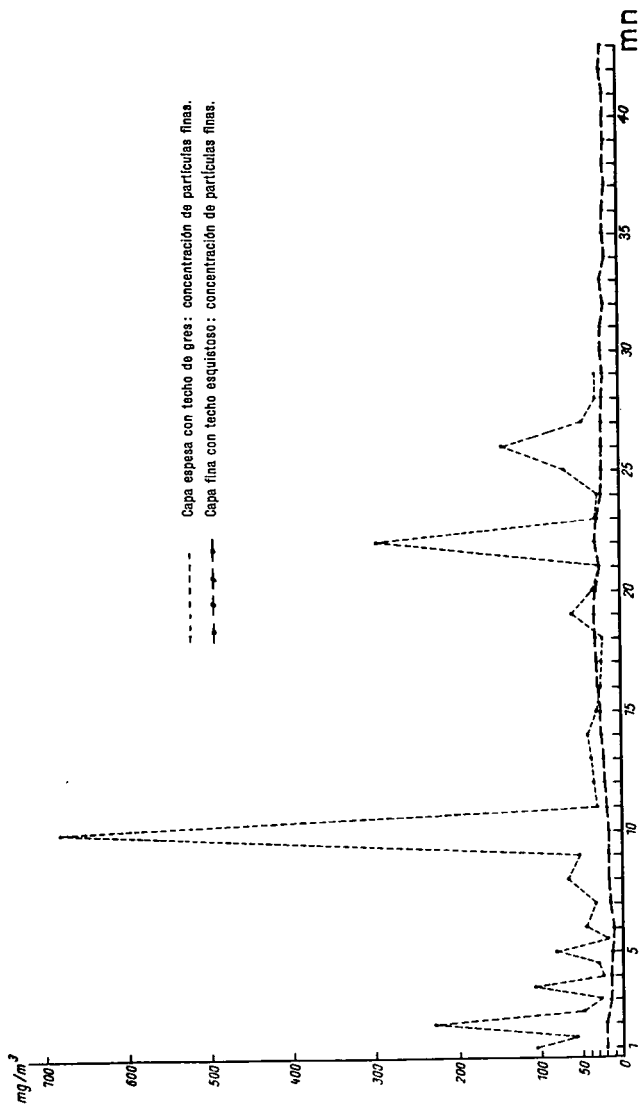


FIG. 41. — Variación de la cantidad de polvo en suspensión durante las operaciones de derrumbe.

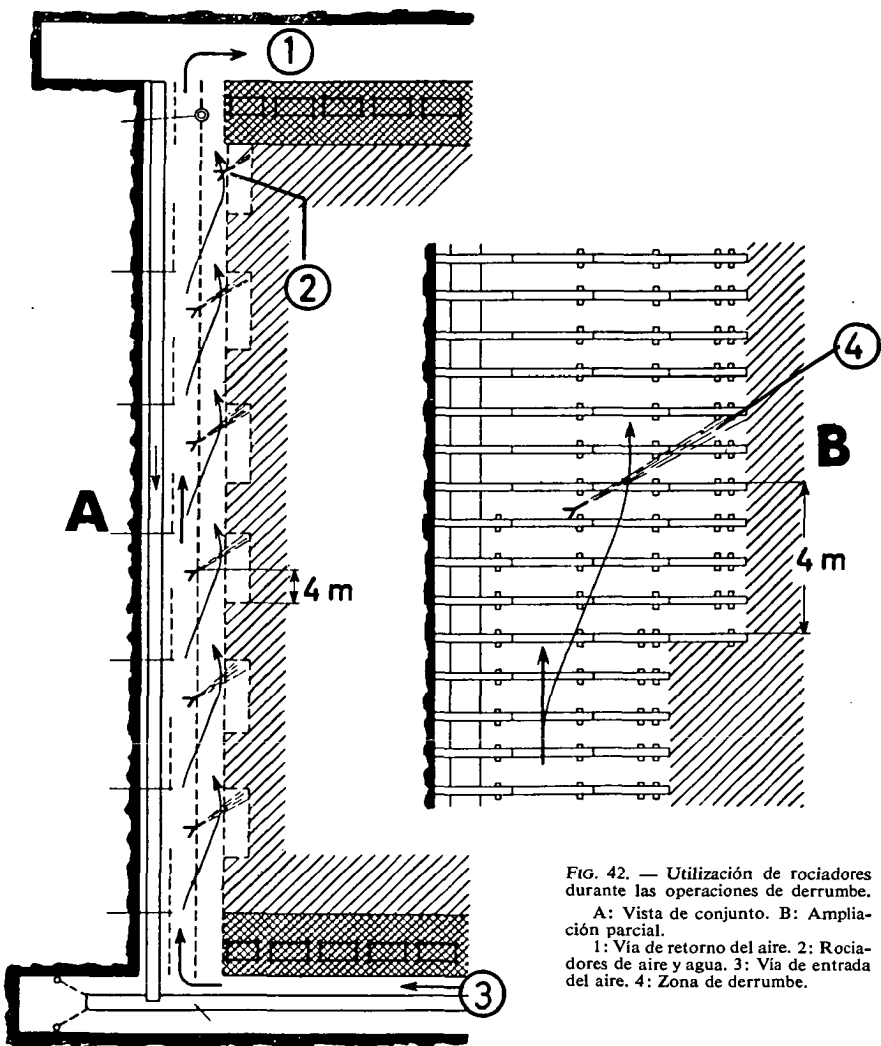


FIG. 42. — Utilización de rociadores durante las operaciones de derrumbe.

A: Vista de conjunto. B: Ampliación parcial.

1: Vía de retorno del aire. 2: Rociadores de aire y agua. 3: Vía de entrada del aire. 4: Zona de derrumbe.

los trabajadores que retiran el entibado ni reduzca la visibilidad. Por otra parte, si la neblina tarda mucho en depositarse puede retener las partículas de polvo más finas y mantenerlas más tiempo en suspensión. Conviene instalar un rociador por cada equipo de derrumbe. El consumo de agua del rociador no debería ser demasiado grande, ya que el exceso de agua puede causar ciertas dificultades, como levantamientos de los suelos.

Debe cuidarse de que las toberas de los rociadores no estén colocadas en ángulo recto con la corriente de ventilación, sino formando con ésta un ángulo de unos 30 grados, porque de este modo parte del polvo en suspensión en el aire será lanzado por el chorro de agua hacia la zona de derrumbe, donde se puede precipitar. Si se instalan los rociadores adecuadamente antes de empezar a retirar el entibado, en la mayor parte de los casos sólo habrá que cambiarlos de lugar una vez en cada uno de los sectores donde trabajan los equipos de derrumbe.

En la lámina II A se puede ver un rociador de agua y aire que permite aislar bastante bien el frente del sector de derrumbe. Consiste en un tubo de metal de 10 mm de diámetro y 36 cm de longitud, que forma un codo. El exterior del tubo tiene una parte ligeramente achatada de 7 mm de ancho. A cada uno de los lados de esta zona achatada hay diez agujeros de 1,3 a 1,5 mm de diámetro, a 20 mm de distancia uno de otro y abiertos de manera que los de un lado estén frente a los del otro. El aire y el agua entran en el rociador a través de discos con perforaciones de 2,2 y 3 mm de diámetro. La longitud del chorro es de 4 metros.

INSTALACIONES SUBTERRÁNEAS DE TRITURACIÓN

A veces es necesario triturar las rocas que se utilizan como material de relleno en instalaciones subterráneas. En el capítulo XIV se examinarán algunos de los problemas especiales que en tales casos se plantean.

EMPERNADO DEL TECHO

El empernado del techo, con el que se consolidan los estratos y se les da mayor resistencia, se utiliza en los frentes de talla, en las galerías de transporte, en las galerías talladas en piedra y en otros tipos de excavaciones. En estos últimos años, esta forma de sostenimiento se ha generalizado con mucha rapidez en todas las grandes regiones mineras. Se la puede utilizar ya sea únicamente en ciertos casos, ya sea sistemáticamente con arreglo a un plan general. Los orificios que hay que abrir para hacer el empernado pueden tener hasta 2 metros de profundidad, de manera que si el empernado es sistemático entraña grandes trabajos de perforación.

Cuando el empernado del techo sólo se hace ocasionalmente, se pueden hacer las perforaciones necesarias con martillos perforadores o con perforadoras de mano, pero cuando el empernado es sistemático se necesitan máquinas instaladas sobre soportes especiales. El problema de la producción de polvo se resuelve utilizando perforadoras especiales con inyección de agua, pero cuando se trata de hacer perforaciones verticales en el techo este tipo de máquinas tiene varios inconvenientes, porque las condiciones en que trabajan los obreros son incómodas y por los malos efectos que puede producir el agua en muchos casos, sobre todo cuando se trabaja cerca de instalaciones eléctricas. Por otra parte, el suministro de agua puede resultar difícil cuando hay que hacer el entibado en una zona adonde no llega la red de distribución de agua. Por estas razones, la perforación en seco, combinada con un buen sistema de captación o de eliminación del polvo, presenta indiscutibles ventajas. En el capítulo VII se describirán varios sistemas de este género.

RECORTE DEL TECHO

La lucha contra el polvo durante las operaciones de recorte del techo tiene gran importancia, especialmente cuando se puede desprender polvo de roca peligroso, y su importancia es aún mayor cuando el recorte se lleva a cabo al mismo tiempo que las labores

de arranque y el polvo en suspensión en el aire que proviene de las operaciones de recorte puede atravesar los frentes. Todas las máquinas que se utilizan para el recorte y todo el resto del equipo de perforación deberán estar provistos de dispositivos de supresión del polvo por humidificación. Además, cuando se usan picos para echar abajo los recortes o cuando hay que hacer voladuras, es conveniente humedecer la zona de recorte y los alrededores haciendo rociamientos a mano.

Cuando lo exijan las condiciones de la zona, se deben tomar medidas para impedir que la corriente de ventilación disperse el polvo que en estas operaciones se pueda producir, para lo cual se podrán utilizar rociadores y tabiques de desviación hechos con telas.

CAPÍTULO VII

PERFORACIÓN

La perforación en roca dura, ya se trate de barrenos o de sondeos de reconocimiento, es una de las más importantes operaciones que se efectúan en las minas, los túneles y las canteras. En los primeros tiempos, estas perforaciones se hacían a mano, con una afilada barra de acero y un martillo. El agua se empleaba para poder sacar más fácilmente los fragmentos de roca, y si se pensaba que el polvo producido era demasiado abundante o peligroso se colocaban unas hilazas mojadas o un lampazo humedecido en torno de la boca del agujero. En la mayor parte de los casos, sin embargo, el peligro que entrañaba el polvo no preocupaba mucho, porque la cantidad de polvo que se producía era pequeña y no se le prestaba atención.

Con la introducción de las perforadoras y el consiguiente aumento de la velocidad de avance, la cantidad de polvo producida ha aumentado enormemente. Fué a fines del pasado siglo, al introducirse las perforadoras, cuando empezó a preocupar seriamente el problema de las neumoconiosis.

Todas las perforadoras de las primeras épocas estaban basadas en el principio de la percusión. La primera perforadora mecánica, muy rudimentaria, apareció en 1683. Poco a poco se fueron introduciendo algunas mejoras y algunos cambios, hasta que en 1861 apareció el martillo perforador Sommeiller, que funcionaba a aire comprimido y que tenía un movimiento de rotación y un movimiento de avance mecánicos combinados. Este instrumento fué el precursor de las modernas perforadoras, y sus características, así como las de los instrumentos posteriormente fabricados, fueron muy perfeccionadas durante la excavación de los túneles

ferroviarios que se abrieron a fines del siglo XIX y a principios del siglo XX, especialmente en los Alpes. La introducción de máquinas pesadas con barrena maciza fué seguida, a principios del siglo XX, por la aparición de la perforadora Leyner, en la cual la barrena está libre dentro de un portabarrenas, de forma que el pistón puede ser mucho más ligero. Además (lo que es mucho más importante desde el punto de vista de la salud), con esta máquina se podía inyectar agua en el orificio perforado a través de la barrena, por un canal axial abierto en ésta.

Esta máquina constituyó un gran adelanto hacia la supresión del polvo en las operaciones de perforación, aunque seguía existiendo el inconveniente de que el aire comprimido pasaba de la máquina al canal de la barrena, y las pequeñas burbujas de aire que se formaban se cargaban de pequeñas partículas de polvo que pasaban a la atmósfera. Más tarde se ha tratado de evitar la entrada del aire comprimido en el orificio que se está perforando y de mejorar el sistema de inyección de agua.

La perforación y la voladura son operaciones fundamentales en todas las minas metalíferas, como también lo son en las minas de carbón cuando se trata de abrir pozos, galerías transversales y la mayor parte de las galerías de mina. A pesar de la creciente mecanización de las labores de arranque, una gran parte de la producción de carbón de muchos países se sigue obteniendo por roza, perforación y voladura.

Las técnicas de perforación empleadas en las minas de carbón son muy diferentes de las que se utilizan en la roca dura, y los problemas de producción de polvo que plantean tienen asimismo sus particularidades. Hasta la distinta naturaleza de la roca misma puede dar a este problema ciertas características que exijan estudios especiales y técnicas de supresión del polvo también especiales. Pero en todos y cada uno de los casos el empleo de perforadoras o de martillos perforadores va acompañado de la producción de grandes cantidades de polvo fino respirable, y es indispensable contar con un buen sistema de inyección de agua o seguir algún otro procedimiento para combatir el polvo.

Tanto las perforadoras para roca como los instrumentos

accesorios de perforación se han ido perfeccionando cada vez más, pero en lo que atañe a la prevención del polvo, que es lo que aquí nos interesa, existen actualmente dos tipos principales de martillos perforadores con inyección de agua, que son los martillos con inyección central o interna y los martillos con inyección lateral. También se han inventado y se fabrican diversos mecanismos de captación y filtración del polvo que permiten llevar a cabo las operaciones de perforación en seco.

Las perforadoras rotativas, que han sido siempre las preferidas para las operaciones de perforación en las minas de carbón, están siendo cada vez más utilizadas para la perforación en roca dura, particularmente en los trabajos exploratorios. Este tipo de máquinas tienen que estar montadas sobre un soporte y provistas de un dispositivo de avance mecánico.

Aparte de la necesidad que existe de suprimir el polvo que se produce en toda clase de operaciones de perforación, antes de comenzarlas es indispensable regar copiosamente el frente y todas las demás superficies vecinas para que no se levante el polvo allí depositado.

OPERACIONES DE PERFORACIÓN EFECTUADAS CON MARTILLOS PERFORADORES CON INYECCIÓN DE AGUA

Martillos perforadores con inyección central

Los martillos perforadores con inyección central han sido las primeras máquinas perforadoras con inyección de agua que han dado buenos resultados prácticos, y durante muchos años han sido los mejores instrumentos de que se disponía en el mundo para la perforación en roca dura o en piedra. Pero si bien representaban un gran adelanto en comparación con los antiguos métodos de perforación en seco, aún había que hacer grandes estudios para reducir más la cantidad de polvo que se producía al trabajar con ellos y para perfeccionarlos, y han sido muchas las recomendaciones que desde su aparición se han formulado y muchos los

perfeccionamientos que se han hecho, tanto en lo que se refiere a las dimensiones de los tubos de inyección de agua y de los canales axiales de inyección como a los juegos y a los ajustes (véase la figura 43).

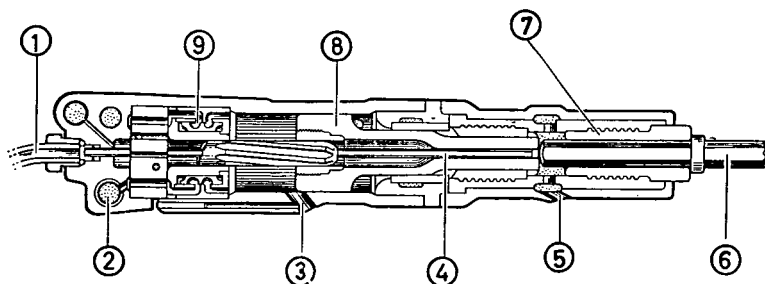


FIG. 43. — Martillo perforador con inyección central y orificios suplementarios de escape en la parte inferior.

1: Entrada del agua. 2: Entrada del aire. 3: Escape. 4: Tubo de inyección del agua. 5: Orificio suplementario de escape. 6: Barrena (hueca). 7: Portabarrenas. 8: Pistón. 9: Caja de las válvulas.

Los defectos de los martillos perforadores con inyección central se pueden resumir de la manera siguiente:

- a) entrada de agua dentro del mecanismo, con el consiguiente detrimento de la lubricación;
- b) pérdida de presión del agua al pasar del tubo de inyección al canal de la barrena, ya que el sistema de inyección no constituye un circuito continuo;
- c) aspiración de aire a la entrada del canal de la barrena y paso del mismo al sistema de inyección, lo cual, como se dijo anteriormente, da por resultado el paso de partículas de polvo a la atmósfera.

El margen de tolerancia en el ajuste entre el diámetro del tubo de inyección y el diámetro del orificio axial abierto en el pistón es de gran importancia. Este margen debería ser el menor posible,

y al aprobar una máquina para su uso en lugares donde se produce polvo se deberían determinar concretamente los límites admitidos. Es indispensable que existan en la parte inferior del martillo perforador orificios de salida para el aire comprimido, delante del pistón, en cantidad y de dimensiones suficientes para la expulsión completa del aire, incluso cuando debido al desgaste creciente de las piezas móviles del martillo aumenta la cantidad de aire que entra en el cuerpo de la máquina (véanse las figuras 44 y 45).

En algunos modelos de martillos perforadores con inyección central se han hecho algunas modificaciones en el pistón y se ha logrado reducir la pulverización a través de los orificios de salida

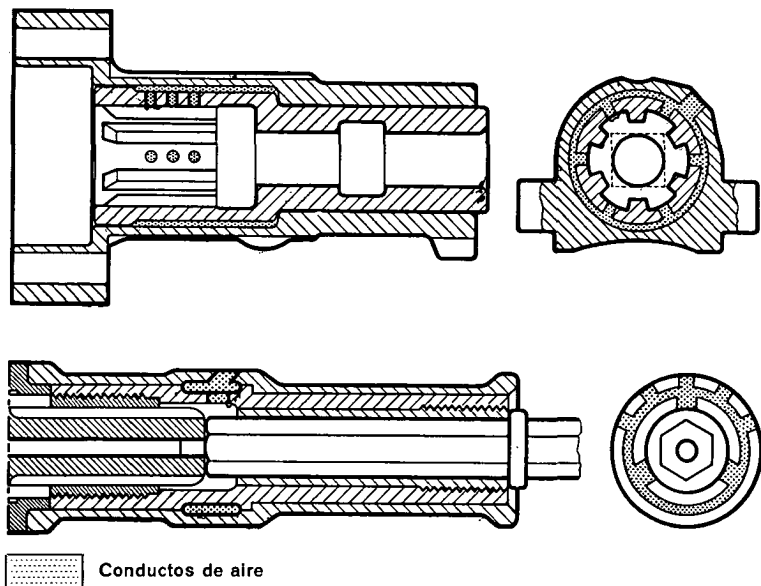


FIG. 44. — Orificios de escape delante del pistón de un martillo perforador.

Los canales anulares que se ven claramente en las secciones transversales permiten la expulsión del aire delante del pistón.

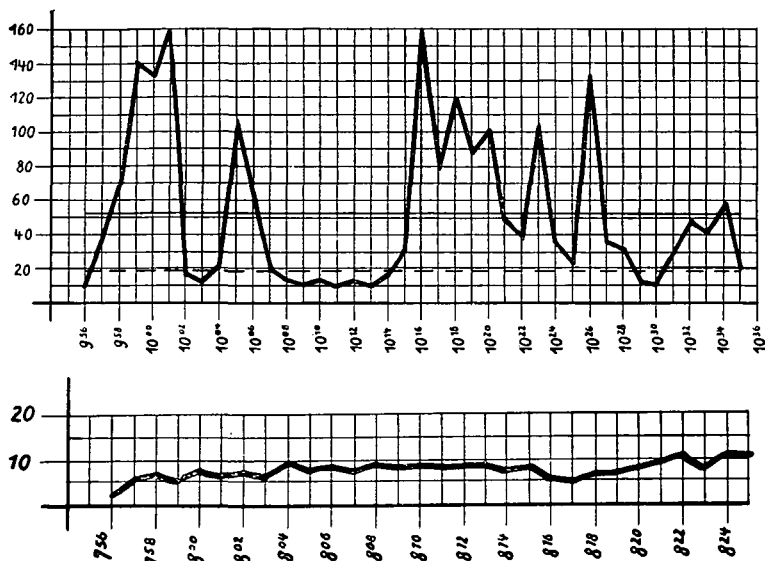


FIG. 45. — Curvas de producción de polvo con martillos perforadores con y sin orificios de escape delante del pistón.

Arriba: Sin orificio de escape delante del pistón. 9 h 56: se inicia la perforación con un martillo, trabajando horizontalmente; 10 h 2: se interrumpe la operación para cambiar la barrena; 10 h 4: se reanuda la perforación; 10 h 5: termina la perforación del orificio; 10 h 8: pausa para engrasar la máquina; 10 h 13: se reinicia la perforación; 10 h 24: se interrumpe la operación para cambiar la barrena; 10 h 28: termina la perforación del orificio; 10 h 32: pausa para cambiar la barrena; 10 h 35: pausa.

Abajo: Con orificio de escape delante del pistón. 7 h 57: se inicia la perforación con un martillo; 8 h 1: pausa; 8 h 6: cambio de barrena; 8 h 11: pausa; 8 h 15: termina la perforación del orificio; 8 h 18: se reinicia la perforación; 8 h 23: pausa.

de la parte inferior del martillo. En Sudáfrica se ha decidido transformar todos los martillos perforadores para el trabajo en roca dotando a todos ellos del pistón denominado «de canales herméticos», con el que al parecer se reduce considerablemente la producción de polvo (véase la figura 46).

Las características del tubo de inyección y su montaje también han planteado gran cantidad de problemas. En efecto, no debe

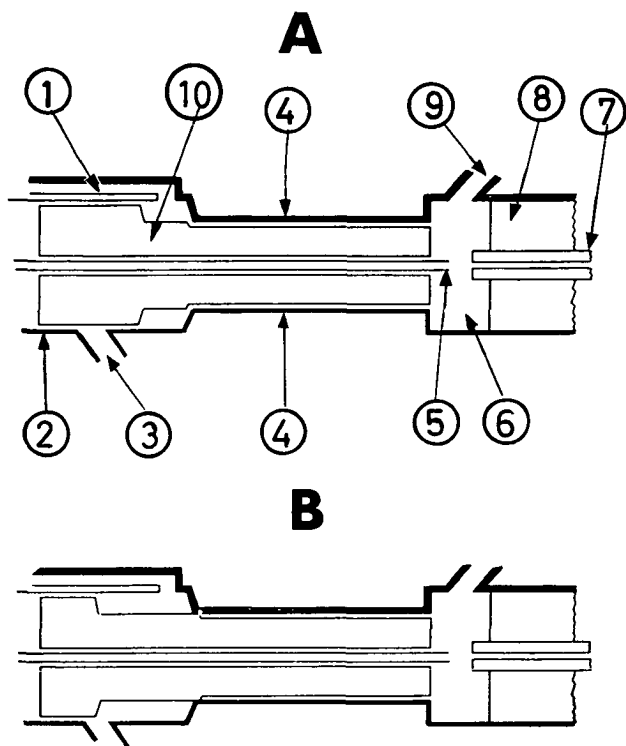


FIG. 46. — Principio del martillo perforador con pistón de canales herméticos.

A: Martillo ordinario (canales abiertos antes de que se abra el escape). B: Martillo con pistón de canales herméticos (canales que permanecen cerrados después de haberse abierto el escape).

1: Entrada del aire comprimido. 2: Pared del cilindro. 3: Escape. 4: Canales. 5: Tubo de inyección del agua. 6: Cámara delantera. 7: Barrena. 8: Portabarrenas. 9: Orificio suplementario de escape delante del pistón. 10: Pistón.

haber nada que dificulte la circulación del agua, ni en la parte de atrás del martillo perforador, ni en el tubo mismo de inyección ni a la salida de éste, por donde el agua pasa a la espiga de la barrena. Al mismo tiempo, el diámetro interior del tubo de inyección debe permitir el paso del agua en la cantidad y con la presión suficientes para que llegue al otro extremo de la barrena y aglomere el polvo. Se han utilizado tubos de inyección cortos, que terminan exactamente a la entrada del canal de la barrena, y tubos de inyección largos, que entran en el canal. Se han hecho diversos ensayos y en algunos casos se han introducido modificaciones, colocando piezas de acoplamiento de caucho o de material plástico al final del tubo de inyección o piezas de inserción en el interior del canal de la barrena, o bien empleando materiales plásticos flexibles para la fabricación de los tubos de inyección a fin de lograr un buen sistema de alimentación cerrado del tubo a la barrena (véase la figura 47), pero hasta ahora no se ha encontrado una solución completamente satisfactoria.

Como puede observarse, se han hecho grandes esfuerzos para dar más eficacia a la inyección de agua en este tipo de martillos perforadores y para reducir la cantidad de polvo que al trabajar con ellos se produce, y se ha visto que es preciso establecer normas

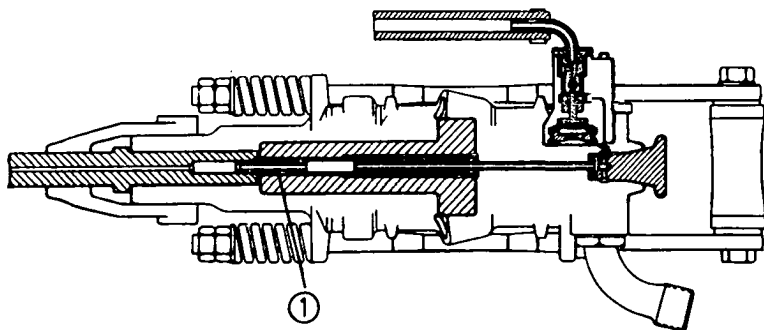


FIG. 47. — Utilización de una pieza de acoplamiento de caucho para el cierre hermético del tubo de inyección de agua de un martillo perforador.

1: Pieza de acoplamiento de caucho.

detalladas en lo que respecta a las dimensiones de los tubos de inyección y de los canales axiales de las barrenas, así como en lo referente a los márgenes de tolerancia en los correspondientes ajustes. Los reglamentos sobre seguridad en las minas de algunos países contienen disposiciones detalladas en las que se establecen las condiciones que deben llenar los martillos perforadores para que se los apruebe. Lo cierto es que, por una parte, los martillos perforadores con inyección central tienen que estar muy bien conservados y su funcionamiento tiene que ser verificado con frecuencia para que no produzcan mucho polvo, y que, por otra parte, el más pequeño desperfecto en el relativamente frágil tubo de inyección o su más pequeño cambio de posición pueden dar por resultado la producción inmediata de polvo mientras se está haciendo la perforación.

Martillos perforadores con inyección lateral

La introducción de los martillos perforadores con inyección lateral ha constituido un gran adelanto, ya que carecen de la mayor parte de los defectos que se les reprochan a los de inyección central. Una de las principales dificultades con que se ha tropezado en la fabricación de este tipo de martillos perforadores ha sido la de abrir un orificio lateral en la barrena para hacer pasar el agua al canal axial sin debilitar la barrena de tal manera que inevitablemente se rompiera durante la perforación.

Fundamentalmente, el sistema adoptado consiste en una virola que se ajusta a la barrena. Esta virola tiene una ranura circular que coincide con un orificio lateral abierto en la barrena y que termina en el canal axial de inyección. Una junta hidráulica formada por anillos de caucho o algún otro tipo de uniones de caucho impide que el agua se escape cuando está trabajando la barrena.

Las ventajas de la inyección lateral son las siguientes:

1. El aire comprimido que sale de la máquina se puede desviar del orificio que se está perforando, y se pueden eliminar las burbujas de aire cargadas de finas partículas de polvo.

2. Se reducen los escapes de agua, y el trabajador que maneja la máquina no tiene por qué mojarse.

3. El sistema de inyección lateral permite utilizar martillos perforadores más ligeros.

4. A todos los tipos de martillos perforadores se les puede poner uno de estos dispositivos de inyección, y lo único que hay que modificar en ellos es la espiga de la barrena.

5. Los martillos perforadores con inyección lateral no presentan los problemas de conservación propios de los martillos con inyección central.

6. El sistema de inyección lateral es más sencillo que el de inyección central, de manera que se reducen los costos.

7. El sistema de inyección lateral se puede instalar en las perforadoras eléctricas, ya que el circuito eléctrico se puede mantener aislado del agua.

En la figura 48 puede verse un sistema de inyección lateral. En algunos modelos de martillos perforadores de este tipo se utiliza la presión del agua inyectada para dilatar las juntas y de este modo mantenerlas fuertemente adheridas a la parte cilíndrica de la espiga de la barrena, sin que dejen salir el agua. Estas juntas hidráulicas constituyen el principal inconveniente de los dispositivos de inyección lateral que actualmente se utilizan, ya que se necesita una buena lubricación para que las juntas de caucho no se desgasten rápidamente y para que no se produzca una fricción excesiva que pueda frenar el movimiento de rotación de la barrena. Por otro lado, el trabajador que maneja la máquina puede ver inmediatamente si el agua está escapando por las juntas, que pueden ser cambiadas rápida y fácilmente en el lugar mismo de trabajo y que además no cuestan mucho.

La experiencia ha demostrado que con el sistema de inyección lateral la aglomeración del polvo es uniforme y satisfactoria, aun cuando se estén perforando rocas de dureza variable. El rendimiento que se obtiene con este sistema, con el que se logra la precipitación hasta de las partículas más pequeñas de polvo que se producen en

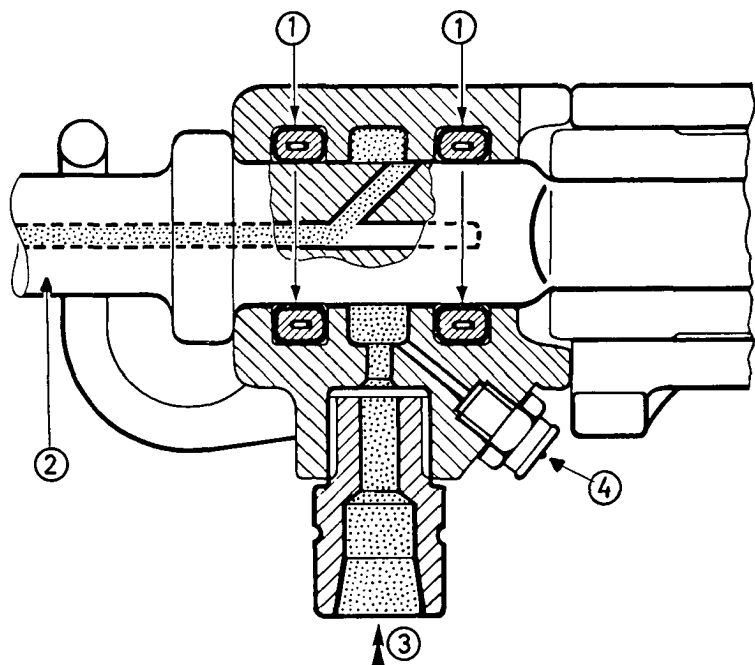


FIG. 48. — Martillo perforador con inyección lateral.

1: Anillos de caucho huecos. 2: Barrena. 3: Entrada del agua. 4: Lubricador.

las operaciones de perforación, se puede atribuir principalmente al hecho de que el agua inyectada sale de los orificios de la broca con una presión casi igual a la de la red de distribución de agua. Las variaciones de la presión del agua, que pueden ser frecuentes en las minas, no influyen en el humedecimiento del polvo.

La perforación efectuada con martillos con inyección lateral es el método de perforación con inyección de agua más seguro y eficaz para la eliminación del polvo perjudicial para la salud.

Barrenas.

Los defectos del canal abierto en la barrena pueden repercutir considerablemente en la inyección de agua. Muchos de los exámenes efectuados para comprobar si el diámetro de este canal (que suele ser de 6 mm) era uniforme en toda su longitud y si su superficie interna era lo más lisa posible han hecho ver que no era así. Del lado de la espiga, especialmente, se han observado estrechamientos del canal producidos durante la forja del collar, y hasta pequeños estrechamientos como éstos pueden reducir notablemente el volumen y la velocidad del agua inyectada. De aquí que los fabricantes de barrenas debieran estar en todas partes obligados a probar todas las que fabrican y a no suministrar a los compradores sino barrenas sin defectos, que llenen las condiciones a que anteriormente se ha aludido.

Brocas.

En los últimos años se ha estado generalizando cada vez más el uso de brocas de barrena con puntas de metal duro en las minas metalíferas, en la perforación de túneles y en las canteras.

Por regla general, las más utilizadas son las brocas de cincel y las cruciformes, desmontables o no (en las no desmontables, la broca forma un solo cuerpo con el vástago de la barrena y las puntas de metal duro están soldadas directamente a ésta). En algunas minas se utilizan brocas de 40 a 42 mm de diámetro, en otras de 39 mm y en otras de 32 a 36 mm. La elección de las brocas de mayor diámetro se debe a las técnicas de voladura utilizadas y depende asimismo de que se disponga de martillos perforadores potentes, porque el trabajo se hace más difícil.

No se ha observado ninguna relación especial, en la perforación con inyección de agua, entre la aglomeración del polvo o la cantidad de polvo residual, por una parte, y la forma o el ancho de la broca de la barrena o la disposición y el número de los orificios de salida del agua abiertos en la broca, por la otra, pero de todas maneras es importante que el agua se dirija hacia el fondo del orificio que se está perforando y que no haya nada que entorpezca la salida

del agua de los orificios de la broca, que deben ser por lo menos dos (véase la figura 49). Las brocas deben tener ranuras para que los fragmentos de roca puedan salir fácilmente y no se obture el orificio.

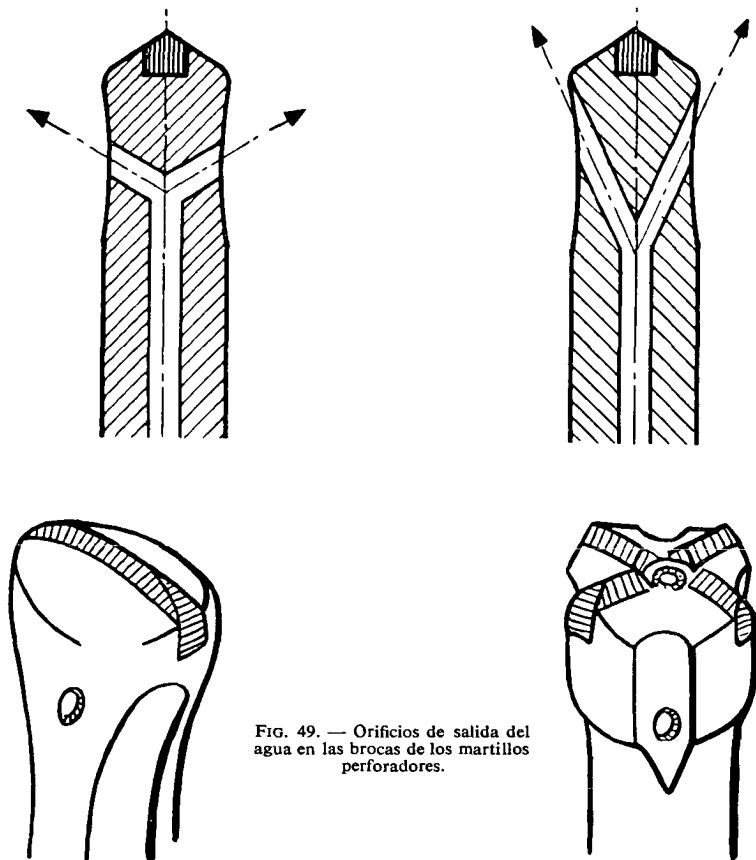


FIG. 49. — Orificios de salida del agua en las brocas de los martillos perforadores.

Inyección de agua.

Las diferencias entre las cantidades de polvo residual (es decir, de polvo no aglomerado) que se observan cuando se trabaja con distintos tipos de martillos perforadores con inyección de agua se deben a la distinta potencia de los martillos y más especialmente a la cantidad de agua inyectada. Esta cantidad de agua está determinada por las características del circuito de inyección del agua del martillo, empezando por la llave de admisión del agua y terminando por los orificios de salida de ésta abiertos en la broca de la barrena. La llave de admisión del agua no debería provocar ningún estrangulamiento por reducción de la sección transversal del tubo de inyección, y no se deberían utilizar válvulas de regulación o cierre automáticos. Ni las conexiones giratorias ni el canal de la barrena deberían tampoco tener partes de sección más reducida que provoquen estrangulamientos, porque reducirían considerablemente la cantidad y la presión del agua que sale de la broca.

Por ejemplo, en los experimentos realizados con un martillo perforador que tenía un canal de inyección de 2,6 mm de diámetro interior se vió que la cantidad de agua que salía de los orificios de la broca era de 6,8 l/min cuando la presión era de 4,8 kg/cm². Con un canal de inyección de 3 mm de diámetro interior, en las mismas condiciones, otro martillo perforador del mismo modelo daba una salida de agua de 6,1 l/min, cuando debería haber dado 7,6 l/min. La diferencia era debida a determinadas particularidades del canal de inyección, y especialmente a reducciones de su diámetro en algunas de sus partes. Se han observado cosas parecidas en otros martillos perforadores.

Perforación en terrenos difíciles.

Si al fondo del orificio que se está perforando llega una cantidad de agua suficiente y no llega ningún aire, la perforación con inyección de agua permite obtener una efectiva aglomeración del polvo en toda clase de rocas. Sin embargo, a veces se puede tropezar con

dificultades en los terrenos fisurados, porque el agua se introduce en las fisuras y deja de circular como es debido. En estos casos se suelen utilizar barrenas huecas helicoidales con cabezas de inyección lateral. Para que estas barrenas huecas helicoidales no trabajen en seco su paso debe ser menor o deben tener una sección circular a lo largo de unos 20 cm inmediatamente detrás de la broca. En el primer caso, los fragmentos de roca son expulsados siempre y cuando estén húmedos, pero si la perforadora está trabajando en seco se atorará. En el segundo caso, si la barrena está trabajando en seco es imposible perforar orificios de más de 40 cm de profundidad. No obstante, estas soluciones sólo se deberían adoptar para la perforación en terrenos fisurados.

*Sincronización de la admisión de aire
y de la inyección de agua.*

Tanto por los peligros que entraña, desde el punto de vista de la producción de polvo, empezar a hacer una perforación sin aplicar agua como porque es preciso asegurar la llegada del agua sin ninguna interrupción al extremo de la barrena, es conveniente montar en los martillos perforadores un dispositivo de inmovilización que impida su funcionamiento a menos que esté asegurada la llegada de agua y ésta esté ya saliendo de los orificios de la barrena. Si los martillos no están provistos de un dispositivo de esta clase, es indispensable dar a los operarios que los manejan una buena formación y vigilar su trabajo muy de cerca, para asegurarse de que no se está iniciando una perforación ni profundizando un orificio en seco.

PERFORACIÓN ROTATIVA

En los frentes de carbón se utilizan muy generalmente las perforadoras rotativas. También se las utiliza mucho en los trabajos exploratorios, en estos casos con punta de diamante, y montadas sobre un soporte adecuado y con un dispositivo de avance mecánico se las está empleando cada vez más para la perforación preparatoria para la fractura de la roca. La per-

foración se obtiene por rotación continua de una barrena cuya broca tiene dos alas y actúa como instrumento de corte. La velocidad de rotación varía de 70 revoluciones por minuto, cuando se está trabajando en rocas muy duras, a 700 revoluciones por minuto, cuando se está trabajando en capas de carbón bituminoso. Las perforadoras son fundamentalmente instrumentos de corte, y no de percusión, de manera que las partículas que con ellas se desprenden son mucho más gruesas y la cantidad de polvo fino mucho menor que cuando se emplean máquinas de percusión.

El estudio de los factores que pueden influir en la cantidad de polvo que se produce muestra que para determinado período de perforación esta cantidad varía con la velocidad de rotación y que la velocidad efectiva de avance de la barrena no influye en la producción de polvo, también para un período determinado. Por lo tanto, conviene lograr grandes velocidades de avance con una velocidad de rotación pequeña instalando en la perforadora un dispositivo de avance mecánico que le dé el empuje apropiado. De esta manera, la producción general de polvo por metro perforado es bastante baja. El punto hasta el cual se puede reducir la velocidad de rotación de la perforadora y aumentar el empuje está determinado por la obturación de la barrena.

Aunque, como de lo anteriormente dicho se deduce, existe necesariamente una velocidad óptima de perforación para cada grado de dureza de las rocas, por lo que se refiere a la producción mínima de polvo fino, en la práctica se han fijado algunas velocidades mínimas y máximas normalizadas para tipos de rocas característicos. Además, lo mismo que cuando se hace la perforación por percusión, se emplean también el agua u otros medios para la supresión del polvo.

Dados los adelantos que se han hecho últimamente en la fabricación de aleaciones y aceros especiales, existen ya mayores posibilidades de utilización en más diversos trabajos de las perforadoras con baja velocidad de rotación, y se puede considerar posible, ya no sólo teóricamente, su utilización en muchas de las variedades de rocas duras. Desde el punto de vista de la lucha contra el polvo hay que felicitarse por ello, ya que los problemas de supresión

del polvo que presenta una máquina rotativa son mucho más fáciles de resolver que los que presenta una máquina de percusión.

PERFORACIÓN EN SECO

En estos últimos años se han perfeccionado mucho los métodos para la supresión en seco del polvo que se produce en las operaciones de perforación, y varios de estos métodos son ya aceptables para su aplicación, no sólo en las perforaciones que se efectúan en la superficie, sino también para las que se hacen en el fondo de las minas y en los túneles. Puede ocurrir, en efecto, que no convenga hacer la perforación con inyección de agua debido a la obturación de los orificios o a los perjudiciales efectos del agua sobre la roca que se está perforando, sobre el techo o sobre el suelo del lugar de trabajo, o bien a causa del grado de humedad de la atmósfera resultante de esta utilización del agua o de la proximidad de conductores o aparatos eléctricos (como sucede cuando se hace el empernado del techo cerca de los cables aéreos para locomotoras eléctricas).

Condiciones de funcionamiento de las máquinas de perforación en seco

En la perforación en seco, las condiciones de funcionamiento del equipo se deben ajustar a normas muy estrictas, entre las cuales están las siguientes:

1. La captación del polvo debería ser automática durante toda la operación y desde el momento mismo en que se empieza a abrir la boca del orificio.
2. El polvo recogido debería ser eliminado sin que pase al aire.
3. Si el aire aspirado por el mecanismo de captación vuelve a pasar, previa filtración, a una zona donde puede ser inhalado por el personal, el filtro que se utilice debe ser particularmente eficaz para las partículas de menos de 5 micrones.

4. El mecanismo de captación debería funcionar con la misma eficacia sea cual fuere la inclinación del orificio que se está perforando (sea la perforación hacia arriba o hacia abajo, o bien sea horizontal).

5. La perforadora no debería poder funcionar si no está funcionando el mecanismo de captación del polvo.

6. El aparato completo debería ser portátil y se lo debería poder utilizar en el limitado espacio de que se dispone en el fondo de las minas y en las galerías, y en las rigurosas condiciones que allí reinan.

Dispositivos de captación del polvo

Los dispositivos de captación del polvo ideados para su aplicación en las operaciones de perforación en seco son de dos tipos principales. El primero consiste en un capuchón, generalmente de caucho, a través del cual pasa la barrena y que cubre la boca del orificio. De este capuchón parte un tubo lateral al cual se adapta otro flexible que permite hacer pasar el polvo recogido a una instalación de filtración o eliminarlo de manera que no entrañe un peligro (véase la figura 50). La aspiración del aire cargado de polvo se obtiene generalmente por medio de un inyector alimentado por un ramal del conducto de aire comprimido de la perforadora. Se ha comprobado que este sistema tiene varios inconvenientes. En la mayor parte de los casos es imposible aplicar el capuchón sobre la boca del orificio de manera que el cierre sea hermético, ya que la superficie del frente es siempre irregular. En estos casos la eficacia de la aspiración es muy reducida y se producen grandes concentraciones de polvo (en realidad, el polvo se empieza a formar ya cuando se empieza a abrir la boca del orificio, antes de que el dispositivo de aspiración comience a funcionar). Otro inconveniente está en que los trabajadores que manejan la perforadora no pueden ver el punto de ataque de la barrena.

En el segundo método, que es el más reciente, el polvo es aspirado a través de la barrena, que es hueca, de manera que el producido por el trabajo de la broca en todas las etapas de la

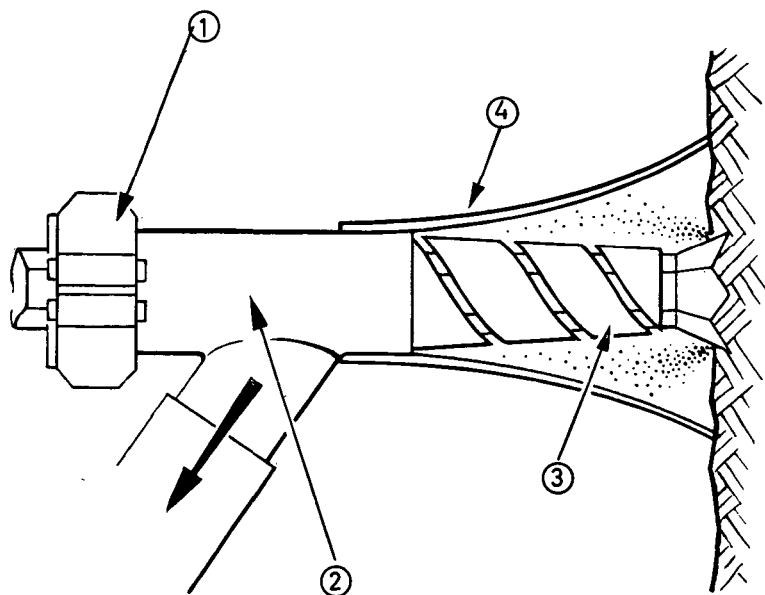


FIG. 50. — Capuchón de aspiración.

1: Collar de retención de ajuste hermético. 2: Manga de succión. 3: Resorte cónico en espiral. 4: Capuchón de caucho.

perforación, incluso al empezar a abrir la boca del orificio, es arrastrado al canal axial de la barrena, de donde pasa a una instalación de filtración o al lugar de descarga por un tubo central que atraviesa la perforadora longitudinalmente o por una manga bien ajustada sobre la parte posterior de la barrena hueca (véase la figura 51). En los diferentes países mineros se han ideado varios dispositivos que funcionan con arreglo a este principio y cuyas principales diferencias están en el método de descarga o de filtración del polvo (véase la figura 52).

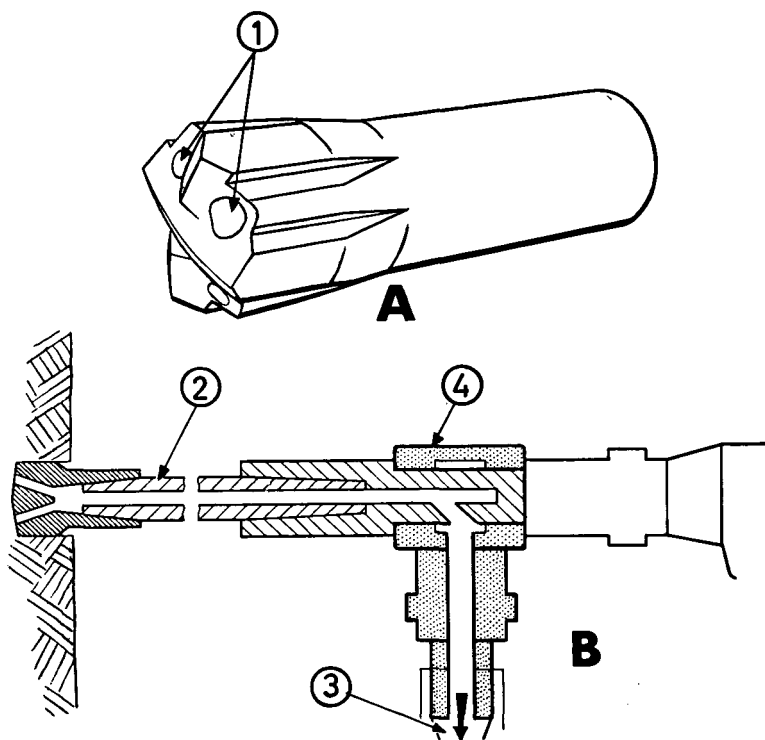


FIG. 51. — Extracción del polvo por el canal axial de la barrena.

A: Broca. B: Dispositivo de aspiración.

1: Orificios de aspiración. 2: Barrena hueca. 3: Conducto flexible de conexión con el filtro. 4: Collar de acero.

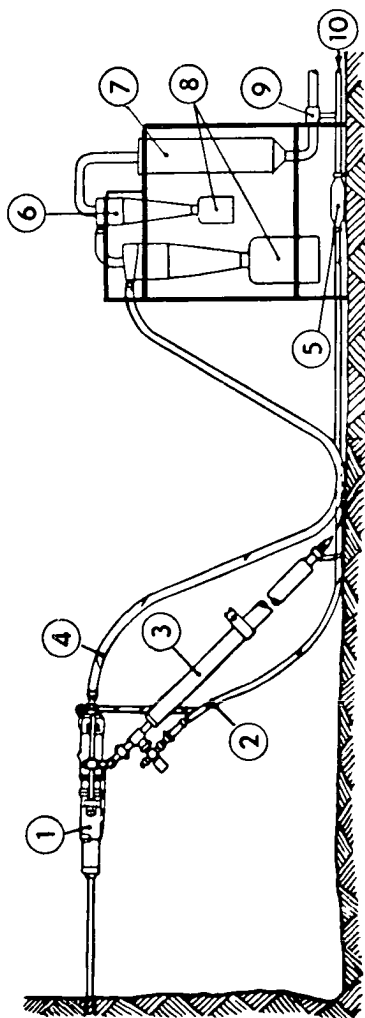


FIG. 52. — Perforadora « Drydractor ».

1: Perforadora. 2: Conducto flexible de aire comprimido. 3: Soporte neumático. 4: Eyector de aire comprimido. 5: Conducto flexible de extracción del polvo. 6: Lubricador. 7: Ciclón. 8: Filtro de bolsa. 9: Recipientes para el polvo. 10: Conducto de la red de aire comprimido.

Eliminación del polvo

El polvo recogido se puede eliminar de diversas maneras. Por ejemplo, se lo puede recoger en una instalación formada por un separador que retiene las partículas gruesas y por un filtro de tela que retiene las partículas respirables (de menos de 5 micrones). En este sistema, el aire filtrado vuelve normalmente a pasar al circuito principal de ventilación. Las instalaciones de este tipo pueden ser instalaciones pequeñas, portátiles y que funcionan con una sola perforadora, o pueden ser instalaciones grandes conectadas con varias perforadoras por medio de conductos apropiados y hallarse hasta a 300 metros de distancia de éstas (véase la figura 53). También se puede llevar el polvo por un conducto hasta un lugar donde se lo pueda descargar sin peligro. En ciertos casos puede ser conveniente combinar los dos métodos, esto es, separar las partículas gruesas en el lugar de trabajo por medio de un separador ciclón para polvo y llevar las partículas más finas por un conducto hasta un lugar donde se las pueda descargar (véase la figura 54). Cuando el polvo se lleva por un conducto y se descarga en un lugar alejado de aquel en que se está haciendo la perforación se deben instalar inyectores suplementarios o ventiladores para asegurar la circulación del aire por el conducto (véase la figura 55).

INSPECCIÓN Y CONSERVACIÓN DE TODA CLASE DE MÁQUINAS PERFORADORAS

En las minas en que se utilizan martillos perforadores o máquinas perforadoras del tipo que sean, la persona encargada de las cuestiones de ventilación u otra persona competente deberían estar encargadas de controlar todas las máquinas perforadoras que se están utilizando, al mismo tiempo que recogen las muestras de polvo. Además, todas las máquinas perforadoras deberían ser enviadas al taller todas las semanas, o por lo menos cada dos semanas, para verificar su funcionamiento y cambiar las piezas desgastadas. Ni al trabajador que las maneja ni a ningún otro trabajador del fondo se les debería permitir desmontar las máquinas de perforación ni intervenir en los problemas de funcionamiento de las mismas.

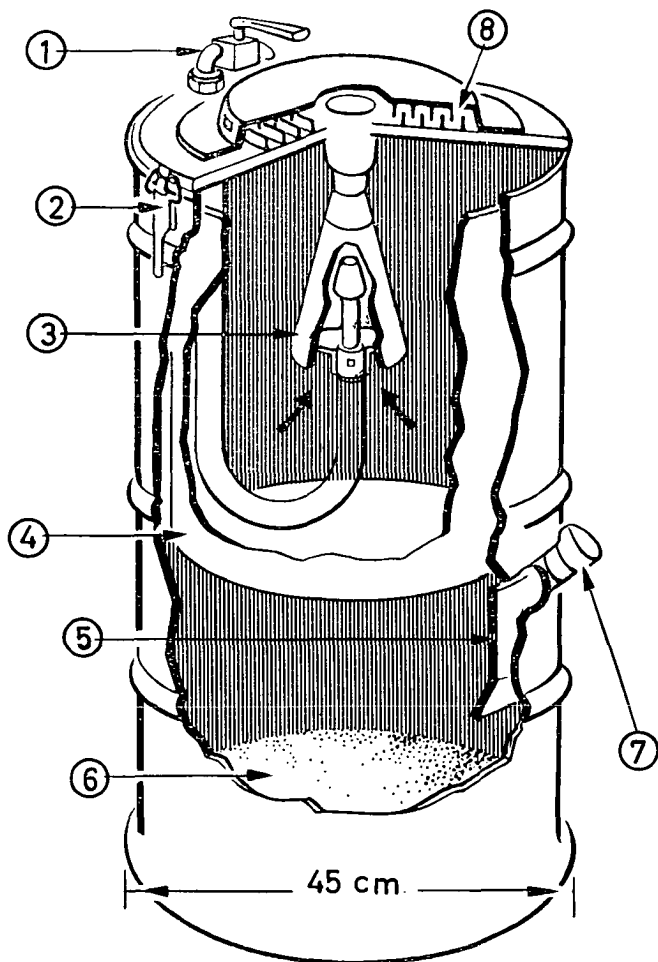


FIG. 53. — Detalle del filtro que se utiliza para la perforación en seco.

1: Entrada del aire comprimido. 2: Cierre a presión. 3: Eyector. 4: Bolsa filtrante. 5: Deflector. 6: Polvo depositado. 7: Conducto flexible de aspiración. 8: Placas desviadoras.

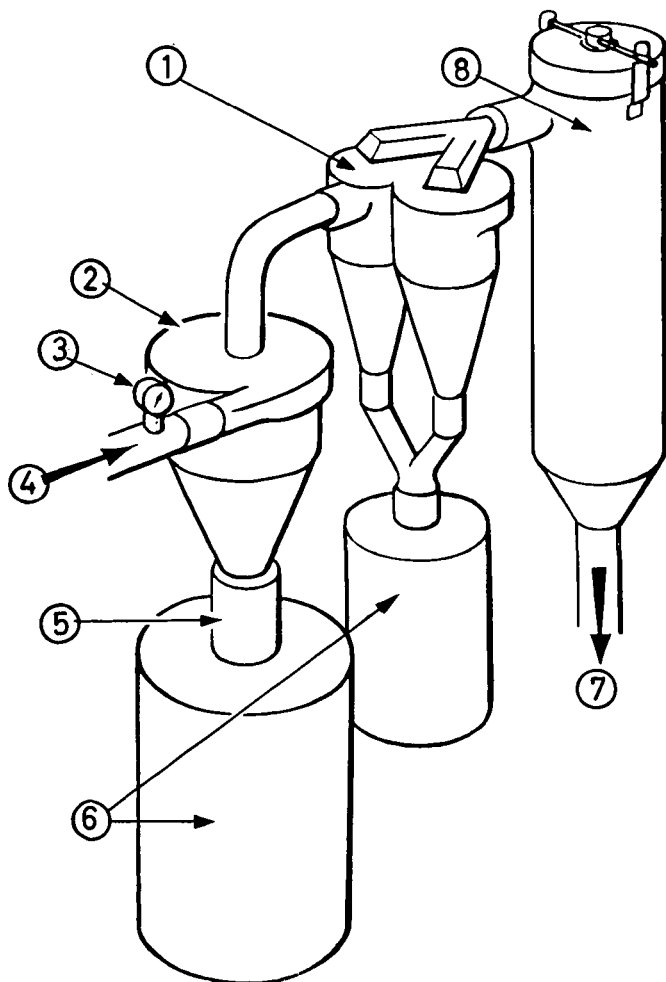


FIG. 54. — Ciclones y filtro para polvo utilizados combinadamente para la perforación en seco.

1: Ciclones apareados para las partículas de medianas dimensiones. 2: Primer ciclón que retiene las partículas gruesas. 3: Vacuómetro. 4: Conducto de llegada del aire cargado de polvo que viene de la perforadora. 5: Tubo de caucho. 6: Recipientes desmontables. 7: Salida del aire filtrado. 8: Filtro que retiene las partículas finas.

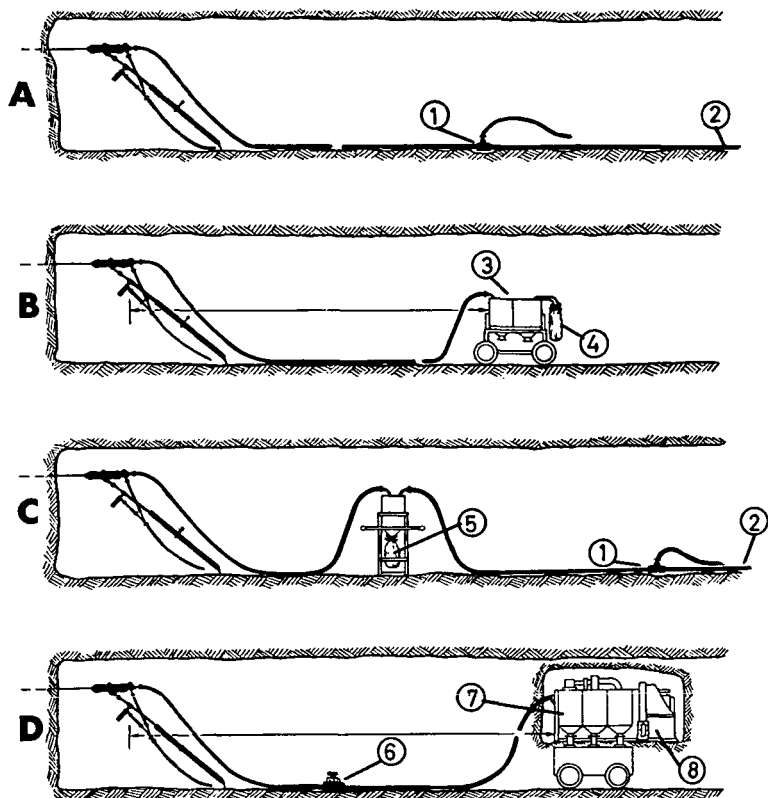


FIG. 55. — Sistemas de captación del polvo utilizables en las máquinas de perforación en seco.

A: Descarga del polvo por tubería. B: Separación y filtración del polvo a la salida de la perforadora. C: Separación del polvo a la salida de la perforadora y descarga de las partículas finas por tubería. D: Descarga del polvo por tubería hasta una instalación de aspiración, situada en una galería principal, que contiene las cámaras de separación y de filtración.

1: Eductor. 2: Tubería de descarga del polvo. 3: Cámaras de separación. 4: Filtro. 5: Captación de las partículas gruesas. 6: Válvula de seguridad. 7: Ciclón u otro tipo de aparato separador. 8: Ventilador aspirante.

Máquinas perforadoras con inyección central

La persona encargada de controlar las máquinas de perforación en el fondo debería prestar atención a los siguientes detalles de las máquinas perforadoras con inyección central:

a) llegada del agua al tubo de inyección en la parte posterior del martillo perforador;

b) orificios de escape del aire abiertos en la parte inferior del martillo perforador, que no deben estar obstruidos;

c) chorro de agua que sale de la máquina cuando se saca la barrena, que debe ser ininterrumpido y correr, aproximadamente, por el eje central de la máquina;

d) chorro de agua que sale de la máquina una vez colocada la barrena, que debe salir de la broca libremente;

e) extremo del tubo de inyección del agua, que no debe estar ni obturado ni deteriorado, verificación que puede hacerse a simple vista;

f) distancia entre el extremo del tubo de inyección del agua y la espiga de la barrena, que se debe medir con un calibrador especial (en algunos modelos, el tubo de inyección penetra en el canal axial de la barrena, y en este caso se puede verificar a simple vista si entra todo lo necesario);

g) formación de neblina en los orificios de escape abiertos en la parte inferior del martillo perforador, que no debería ser excesiva cuando la máquina está funcionando;

h) presión del agua inyectada durante la perforación, la cual se debe medir;

i) número y modelo de la máquina, que se deben anotar para indicarlos en el informe que haya de presentarse.

Aunque pueda haber centenares de máquinas perforadoras con inyección central que se utilicen a diario en las minas y cuyo funcionamiento sea satisfactorio, no deja de ser cierto que hay que

tomar serias medidas de precaución y de control para asegurarse de que conservan sus primitivas características.

Máquinas perforadoras con inyección lateral

El control de las máquinas perforadoras con inyección lateral efectuado en el fondo es menos complicado que el de las máquinas con inyección central, y puede reducirse a una observación a simple vista del chorro de agua que sale de la broca y de los escapes que pudiera haber en la cabeza de inyección del agua. Cuando se empieza a perforar la boca de un orificio se debería comprobar si se produce polvo, y mientras se está haciendo la perforación se debería observar si las partículas que se desprenden se aglomeran bien.

Máquinas de perforación en seco

Cuando se utilizan máquinas de perforación que trabajan en seco se debe observar constantemente si se produce polvo; además, se deben tomar regularmente muestras de polvo, para mayor seguridad. El mal funcionamiento de este tipo de máquinas puede tener diversas causas, entre ellas las siguientes:

- a) desgaste o deterioro de las juntas de los aparatos de captación del polvo;
- b) cierre no hermético de las cámaras en que se hallan los filtros;
- c) obturación de los filtros por el aceite o por la suciedad;
- d) montaje defectuoso de los elementos de filtración;
- e) exceso de polvo en los filtros;
- f) no vaciamiento de los recipientes donde se recoge el polvo cuando están llenos;
- g) escapes en las conexiones de los tubos de captación del polvo.

Los trabajadores que manejan una máquina de perforación en seco deberían verificar todos estos detalles regularmente.

ENSAYO DE LAS MÁQUINAS PERFORADORAS

En el anexo 2 se hallará una descripción de las instalaciones de ensayo de las máquinas perforadoras.

CAPÍTULO VIII

PEGA DE BARRENOS O VOLADURAS

El peligro que entrañan la pega de barrenos o las voladuras desde el punto de vista de la producción de polvo está reconocido desde hace mucho tiempo, pero no siempre se le ha prestado la debida atención. Sin embargo, ya antes de la segunda guerra mundial se promulgaron en varios países reglamentos que imponían a las empresas mineras la obligación de utilizar el material adecuado y de tomar las medidas convenientes, habida cuenta de los conocimientos técnicos y científicos de la época, para evitar la formación de polvo durante las voladuras. Las precauciones más importantes eran las relativas a las voladuras en roca.

La parte de la carga total de polvo que existe en una mina debida a las voladuras puede ser muy diferente, ya se mire la cuestión desde el punto de vista de la cantidad de polvo que se produce, ya desde el punto de vista de la duración de los desprendimientos de polvo. Depende en cada caso del programa de voladuras, determinado por la naturaleza, la estructura y la dureza de la roca que se desea derribar, por el método de arranque y por la cantidad de avances y de trabajos preparatorios que haya que hacer.

En cualquier caso, ya se hagan las voladuras en un solo lugar de trabajo o en varios, el personal expuesto al polvo que en ellas se produce, cuya concentración puede ser muy grande, debe estar eficazmente protegido.

PRECAUCIONES GENERALES

Al elegir el método de arranque o de laboreo se deberían preferir los sistemas que permitan asegurar una ventilación abundante que

pueda servir de base para todas las demás medidas de lucha contra el polvo. Además, ya en la etapa de la planificación se debería poner el mayor empeño en reducir el número de voladuras todo lo posible y para que no haya que hacerlas sino a horas fijas. Si se tienen presentes las indicaciones dadas a continuación, se podrá reducir la cantidad de polvo en suspensión y evitar en todo lo posible la exposición del personal al riesgo coniótico.

1. Si se adoptan métodos de perforación y técnicas de pega de barrenos adecuados se puede reducir la cantidad de polvo que se produce en estas operaciones.

2. Se puede reducir el número de voladuras por diversos procedimientos (pega de barrenos en serie, etc.).

3. Antes de hacer las voladuras se deben regar copiosamente el suelo, el techo y los muros de los alrededores de la zona.

4. Las voladuras sólo se deberían efectuar en momentos en que hay pocas personas expuestas a los humos que en ellas se desprenden (por ejemplo, cuando un equipo de trabajadores ha terminado su turno de trabajo).

5. Se debería cuidar de que las personas que permanecen en los lugares de trabajo durante las voladuras se mantengan alejadas de los lugares adonde pueden llegar los humos.

6. El polvo producido por las voladuras debería ser rápidamente dispersado y arrastrado por una buena corriente de ventilación.

7. A todas las personas encargadas de efectuar las voladuras o que puedan estar expuestas a los humos que en ellas se desprenden se les debe explicar perfectamente el riesgo que entraña el polvo y se las debe proteger contra ese riesgo.

Hay dos procedimientos, en apariencia simples, para proteger a los trabajadores contra el polvo que se produce al efectuar las voladuras, que son el de hacerles usar máscaras contra el polvo y el de hacer que se refugien en lugares que tengan una ventilación independiente. Sin embargo, de esta manera sólo están protegidas

las personas que tienen puesta una máscara o que están guarecidas en alguno de esos refugios. En algunas circunstancias estas medidas pueden dar buenos resultados, pero su aplicación presenta serias dificultades y sólo se debería recurrir a ellas para asegurar la protección de los trabajadores en casos excepcionales, cuando no se encuentra ninguna otra solución. Por lo tanto, se deberían tomar precauciones para impedir el desprendimiento de polvo durante las voladuras o para arrastrarlo fuera de la mina sin que el personal corra ningún peligro.

Cuando se piensa hacer voladuras es muy importante elegir una buena técnica de pega de barrenos. Es fundamental elegir bien el explosivo que conviene utilizar para las voladuras que se van a hacer, teniendo en cuenta la naturaleza de la roca, la forma del frente de arranque y todos los demás factores que pueden influir en las características de ruptura del terreno en que se está trabajando. Además, hay que determinar muy cuidadosamente la disposición de los barrenos y la cantidad de explosivo que se va a utilizar. Por todas estas razones, es indispensable controlar estrechamente el trabajo del personal encargado de la operación.

VOLADURAS EN ROCA

En las rocas duras, cuando el mineral se arranca con explosivos, se deben tomar medidas especiales para proteger a los trabajadores contra el polvo y los humos que se producen en las voladuras. Los barrenos se perforan durante el turno de trabajo de un equipo de trabajadores y luego se los carga, y se hacen las voladuras con arreglo a un programa preestablecido y una vez terminado el turno de trabajo, cuando casi todos los trabajadores han abandonado la mina o se han retirado a un lugar bien ventilado. La pega de barrenos propiamente dicha, para la cual sólo se necesitan unas cuantas personas, se puede hacer con arreglo a un horario muy estricto, en el cual se debería establecer en qué momentos se van a hacer las voladuras en los distintos lugares y determinar las precauciones que se deben tomar para que los trabajadores no se vean expuestos

al polvo o a los humos que vienen de lugares de trabajo cercanos al suyo.

Una vez hecha la voladura, los trabajadores no deberían volver al lugar donde se la ha hecho mientras la corriente de ventilación no haya arrastrado por completo los humos. En muchos países, el período de espera está fijado por la legislación. Debería estar prohibido hacer voladuras no previstas en el programa durante los turnos de trabajo, salvo en casos de urgencia o en circunstancias especiales. Entre las razones que justificarían una voladura no predeterminada durante un turno de trabajo están las siguientes:

- a) derrumbe de rocas que hay que sacar del lugar en que han caído;
- b) presencia de bloques de grandes dimensiones que obstruyen una chimenea o una criba y que hay que hacer desaparecer;
- c) en trabajos preparatorios o de perforación de galerías, siempre y cuando se hayan tomado medidas especiales.

La primera de estas situaciones sólo se presenta accidentalmente. La segunda se puede presentar en las minas explotadas por subniveles o por métodos análogos. En cuanto a la tercera, cabe señalar que cuando se quiere avanzar rápidamente en las excavaciones se suelen extraer el polvo y los humos de las voladuras por un conducto o una vía de ventilación especiales, llevándolos directamente al pozo de retorno del aire, y que también se pueden instalar filtros para polvo y humo (véase el capítulo XIV). Cualquiera que sea la razón por la cual se hace una voladura, los encargados de controlar la operación deben asegurarse de que los trabajadores no se han de ver expuestos ni al polvo ni a los humos.

En las minas de carbón, las voladuras efectuadas en las galerías y las vías transversales producen grandes cantidades de polvo. Según su composición mineralógica, las partículas de menos de 3 micrones que entran en la composición de este polvo pueden llegar a constituir hasta el 80 por ciento del total. Basta recordar que la concentración de partículas finas de polvo en suspensión

en el aire puede llegar a ser de 3.000 mg/m^3 para comprender que es necesario combatir eficazmente el polvo que se desprende en las voladuras. En estas cantidades, el polvo puede constituir un serio peligro para la salud de los trabajadores, ya que permanece largo tiempo en suspensión en el aire y la corriente de ventilación lo arrastra a otros lugares de trabajo de la mina. Como no siempre es posible hacer las voladuras solamente cuando cambian los equipos de trabajadores, no sólo pueden estar expuestos al peligro los que perforan las galerías, sino también todos los trabajadores que se encuentran en lugares por donde pasa la corriente de ventilación.

Felizmente, existen diversos métodos para combatir el polvo que producen las voladuras que se efectúan en las galerías, las vías transversales, etc., con los cuales se puede reducir considerablemente la cantidad de polvo que en ellas se desprende. Estos métodos serán descritos en este mismo capítulo.

VOLADURAS EN CAPAS DE CARBÓN

En algunos de los países productores de carbón, el arranque se efectúa principalmente mediante voladuras. En la mayor parte de los casos las cargas se calculan con toda precisión para aflojar el carbón de manera uniforme y así facilitar las operaciones de arranque que se efectúan posteriormente por otros métodos. Con las medidas para combatir el polvo hasta ahora ensayadas es muy difícil o imposible lograr la precipitación efectiva del polvo producido por las voladuras, especialmente cuando la explotación se hace por tajos largos, debido al gran número de puntos en que se producen explosiones.

El polvo producido por la desintegración del carbón constituye un grave problema, porque es difícil lanzar en tan corto tiempo la cantidad de agua necesaria para lograr una buena aglomeración del polvo. Desde el punto de vista de la lucha contra el polvo, en el frente de talla se debería tratar de fisurar el carbón, y no de fragmentarlo, y como desde el punto de vista de la producción también es inconveniente la disgregación del carbón, esta norma

suele estar en armonía con los principios generales de explotación. Por consiguiente, por regla general se debería tratar de utilizar cargas lo más ligeras posible, de disponer racionalmente los barrenos y de emplear un explosivo adecuado para el trabajo que se está efectuando. La tendencia a utilizar cargas demasiado fuertes se advierte sobre todo en las labores de recorte, donde las cargas necesarias son diferentes en cada voladura. Por estas razones, las normas relativas a las voladuras en capas de carbón deben ser establecidas muy cuidadosamente, y el personal encargado de este trabajo debe ser de toda confianza y recibir una detenida y completa formación. Si los explosivos se utilizan adecuada y eficazmente, se puede reducir al mínimo la producción de polvo durante las voladuras.

Pega de barrenos rellenos con agua

De la infusión de agua se hablará con más detenimiento en el capítulo IX, en el cual se examinarán las ventajas que presenta este procedimiento para combatir el polvo. En la pega de barrenos rellenos con agua se aplican los principios de la infusión a las voladuras en sí mismas: el propio barreno y todos los intersticios que hay en la capa de carbón en torno al mismo están llenos de agua bajo presión en el momento de la voladura. Por este procedimiento se puede reducir considerablemente la producción de polvo en las voladuras y al mismo tiempo se reduce el riesgo de inflamación en atmósfera grisúosa. Se asegura asimismo que es mayor la eficacia de las voladuras cuando se sigue este sistema.

A pesar de haberse generalizado los métodos de explotación mecánica, el procedimiento de pega de barrenos rellenos con agua se aplica cada vez más y se hacen cada vez más ensayos para encontrar nuevas aplicaciones del sistema. Esta técnica se puede aplicar en casi todos los tipos de capas de carbón, desde las horizontales hasta las muy inclinadas, y se la ha ensayado:

- a) en la roza del carbón;
- b) en el macizo, con orificios laterales;
- c) en el macizo, con orificios largos.

En la figura 56 se puede ver una de las aplicaciones de este método en la roza del carbón. Los barrenos están perforados a unos 40 cm del techo y a 3,5 m los unos de los otros. En el caso de que aquí se trata, la carga de cada barreno era de 450 g de explosivo, y en cada uno de ellos se habían introducido entre 30 y 50 litros de agua a una presión de entre 15 y 23 kg/cm².

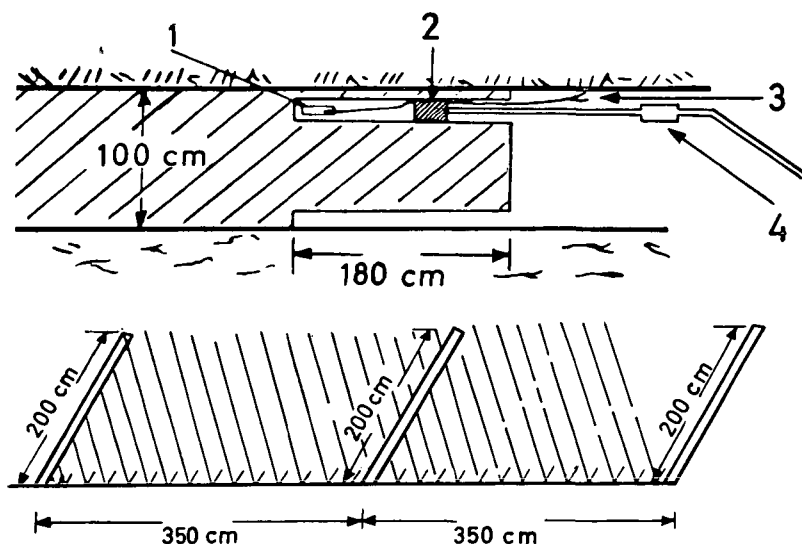


FIG. 56. — Pega de barrenos rellenos con agua en la roza del carbón (sección vertical y proyección) (proporciones no respetadas).

1: Carga. 2: Obturador hidráulico. 3: Alambres del detonador. 4: Tubo de infusión.
Carga: 450 g por barreno.

Las figuras 57 y 58 ilustran dos métodos de perforación de orificios para la pega de barrenos rellenos con agua en el macizo. La disposición exacta de los orificios para este tipo de voladuras dependerá de las circunstancias, pero en la mayor parte de los

casos se han obtenido buenos resultados. Cuando se ha tropezado con dificultades para abrir el frente se las ha obviado socavando previamente una pequeña sección y haciéndola volar, pero generalmente se puede obtener la entrada al macizo como muestran las figuras.

En vez de perforar un gran número de orificios cortos perpendicularmente al frente se puede perforar un solo orificio en la parte delantera del frente y paralelamente a él, como se puede ver en la

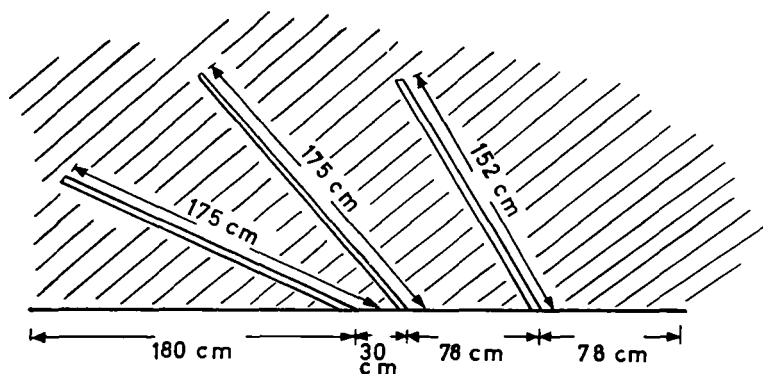


FIG. 57. — Perforación de orificios para voladuras formando diferentes ángulos con el frente (proporciones no respetadas).

figura 59. Este procedimiento, que se emplea tanto para la infusión como para la voladura en el macizo, parece muy prometedor; la principal dificultad con que hasta ahora se ha tropezado es la de alinear el orificio con el frente de talla y mantener la buena dirección en la perforación. Mediante los experimentos efectuados con varios tipos de máquinas perforadoras se ha logrado una exactitud cada vez mayor. Las cargas se colocan a distancias regulares a todo lo largo del orificio y están unidas entre sí por una mecha, haciéndoselas explotar con un detonador eléctrico especial.

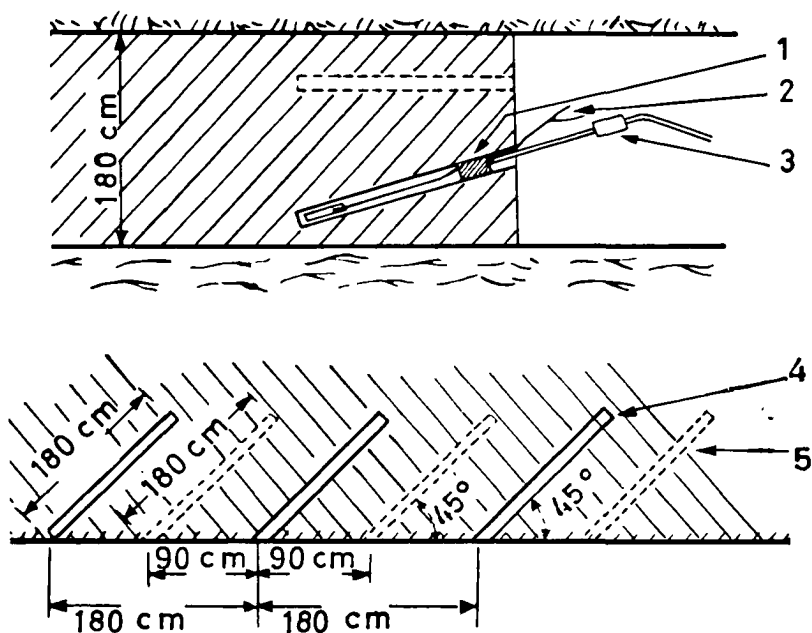


FIG. 58. — Voladuras en el macizo (sección vertical y proyección)
(proporciones no respetadas).

1: Obturador hidráulico. 2: Alambres del detonador. 3: Tubo de infusión. 4: Orificios inferiores. 5: Orificios superiores.

Carga: orificios superiores, 340 g; orificios inferiores, 170 g.

Los dispositivos que se utilizan para llenar de agua los barrenos son fundamentalmente los mismos que se emplean para la infusión a alta presión. Cuando se hacen voladuras en serie se puede llevar el agua a todos los barrenos simultáneamente con ayuda de un distribuidor apropiado.

En algunos casos, la operación se ha hecho más segura aún merced a un dispositivo que impide la pega del barreno mientras el agua no ha llegado a la presión deseada.

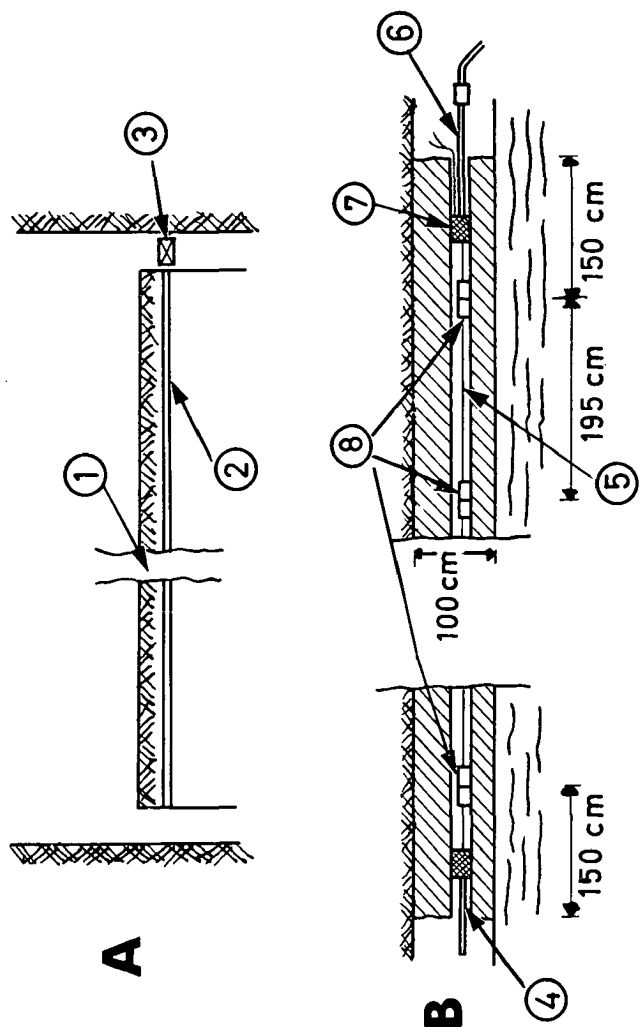


FIG. 59. — Perforación de un solo orificio para voladura paralelo al frente, en vez de varios orificios perpendiculares al mismo (proporciones no respetadas).

A: Esquema general. B: Detalles.

1: Espesor de la capa que se va a hacer saltar (1 m). 2: Orificio paralelo al frente. 3: Máquina perforadora. 4: Obturador dilatante. 5: Mecha « Cordtex ». 6: Tubo de infusión. 7: Obturador hidráulico. 8: Cargas (450 g cada una).

Cartuchos de agua para la pega de barrenos

En los últimos tiempos se han empezado a utilizar en muchas minas de carbón los cartuchos de agua para la pega de barrenos. Con estas bolsas de material plástico llenas de agua no sólo parecen mejorarse las características de ruptura y parece economizarse explosivo, sino que además se reduce considerablemente la cantidad de polvo respirable producido por las voladuras. Las bolsas de material plástico que contienen el agua son cilíndricas y pueden tener hasta 50 cm de largo. Estos cartuchos se pueden llenar en el lugar de trabajo o se pueden obtener ya preparados. Se los introduce en el barreno junto con la carga, y se obtura el barreno con el taco normal del largo suficiente. Se han hecho ensayos colocando el cartucho de agua detrás de la carga, colocándolo delante de la carga y colocando un cartucho delante y otro detrás. Es muy probable que la mejor solución sea esta última.

Se han hecho muchos experimentos con cartuchos de agua en la República Federal de Alemania, en Bélgica y en el Reino Unido. En una serie de ensayos se utilizaron cartuchos de cloruro de polivinilo de 36 a 38 mm de diámetro y de unos 35 cm de largo, con una capacidad de 300 cm³. El líquido en este caso utilizado era una solución al 5 por ciento de cloruro de sodio, a la que se agregó una pequeña cantidad de carbonato de sodio. Los cartuchos se cerraron por un procedimiento especial y se los mantuvo en su lugar con una cuña.

Recientemente se ha ideado otro tipo de cartucho, también de cloruro de polivinilo, que tiene una válvula de cierre automático que permite introducirlo en el barreno al extremo de un tubo conectado con la red de distribución de agua. Abriendo el paso del agua se llena el cartucho, que al hincharse tapona el orificio. El tubo por el que se lo llena de agua se puede retirar sin que se reduzca la presión, gracias a la válvula de cierre automático que tiene el cartucho. Si se monta una válvula de control en el tubo por el que va el agua, se podrá obtener en el cartucho la presión predeterminedada que se desee (véase la figura 60).

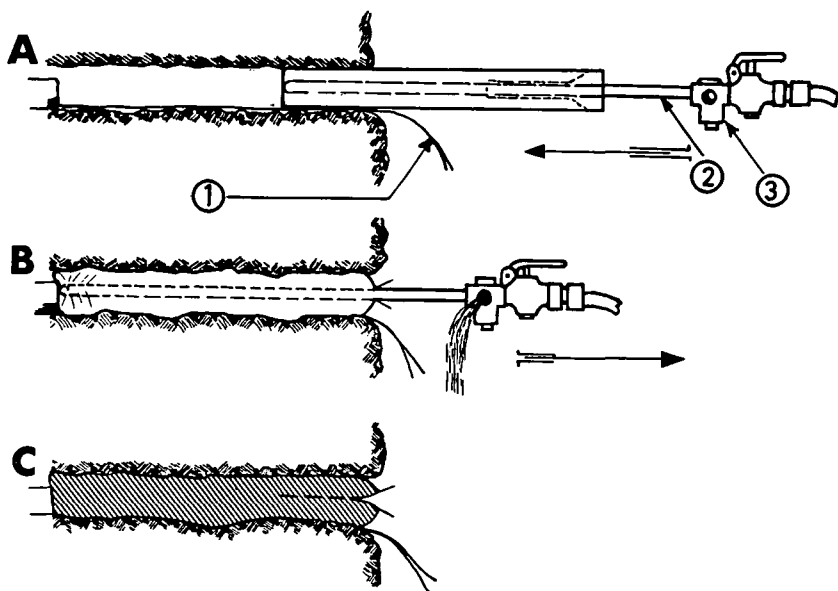


FIG. 60. — Cartucho de agua « Parisis », de cierre automático, para la pega de barrenos.

A: Introducción del cartucho en el barreno. B: Cartucho lleno y válvula de control de la presión en funcionamiento. C: Al retirar el tubo de infusión, el cartucho se cierra automáticamente.

1: Alambres del detonador. 2: Tubo de infusión. 3: Válvula de control de la presión.

Se afirma que con estos cartuchos de agua se ha reducido la producción de polvo en las voladuras entre el 40 y el 60 por ciento. Además, si se utiliza este procedimiento hay menos probabilidades de que se produzca una explosión de grisú o de polvo de carbón y es mayor la eficacia de la voladura. También se han utilizado estos cartuchos para la voladura en roca.

Cabe asimismo señalar que en un ensayo controlado sólo se utilizaron en estos cartuchos 4,6 litros de agua, mientras que para la precipitación del polvo mediante una cortina de agua atomizada se utilizaron 1.200 litros en 20 minutos.

Cortinas de agua atomizada

El más antiguo procedimiento para combatir el polvo producido por las voladuras en las galerías consiste en tender sobre cierta distancia una cortina de agua pulverizada que se debe mantener en suspensión antes de la voladura y durante la misma, y que facilita la precipitación del polvo y de los humos. Esta cortina de niebla, producida por rociadores de agua y aire, debe ser dirigida hacia el frente de la galería. En las figuras 61 A y 61 B se pueden ver dos tipos de rociadores de agua y aire.

Este procedimiento se puede utilizar, tanto con un sistema de ventilación por lanzamiento de aire como con un sistema de aspiración, en la mayor parte de los trabajos preparatorios (véase la figura 62). Se deberían instalar en la galería uno o más rociadores, que deberían empezar a funcionar antes de la pega y seguir funcionando durante 20 o 30 minutos, por lo menos, después de la voladura. Se ha utilizado mucho este sistema en las minas del Ruhr. Para producir la neblina se utilizan rociadores de agua y aire. La zona de neblina se extiende a una distancia de 30 metros, por lo menos, a partir del frente. Para precipitar el polvo que queda en la mezcla de polvo y neblina que se forma en el frente se instalan otros rociadores de agua en la vía de retorno del aire. En la figura 63 se pueden ver los tipos de instalaciones utilizados con los sistemas de ventilación por lanzamiento de aire y los utilizados con los sistemas de aspiración. También se ha ideado otro sistema en el que se combinan las cortinas de agua atomizada con los filtros y que se utiliza con la ventilación aspirante. En este sistema se substituye la segunda zona de rociamiento por varios filtros de anillos Raschig colocados en el interior del conducto de aspiración, cada uno de los cuales recibe el agua lanzada por un rociador cuyo consumo es de alrededor de 20 l/min (véase la figura 64). Los discos filtrantes están montados de manera que cuando no se están utilizando los filtros se los puede hacer girar verticalmente formando un ángulo de 90 grados o se los puede hacer bajar a un nicho que hay en el fondo del conducto, reduciéndose así la resistencia de la instalación a la corriente de aire. El diámetro

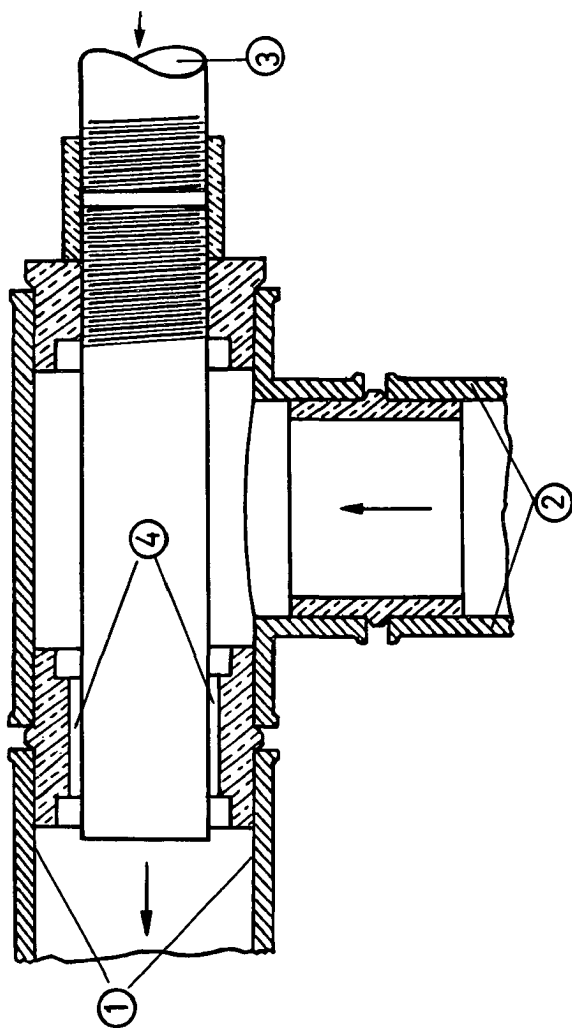


FIG. 61 A. — Rociador simple de agua y aire para lanzar cortinas de agua atomizada.
1: Tubo de descarga. 2: Entrada del agua. 3: Entrada del aire. 4: Orificio anular de entrada de aire correspondiente a un diámetro interior mínimo de 15 mm.

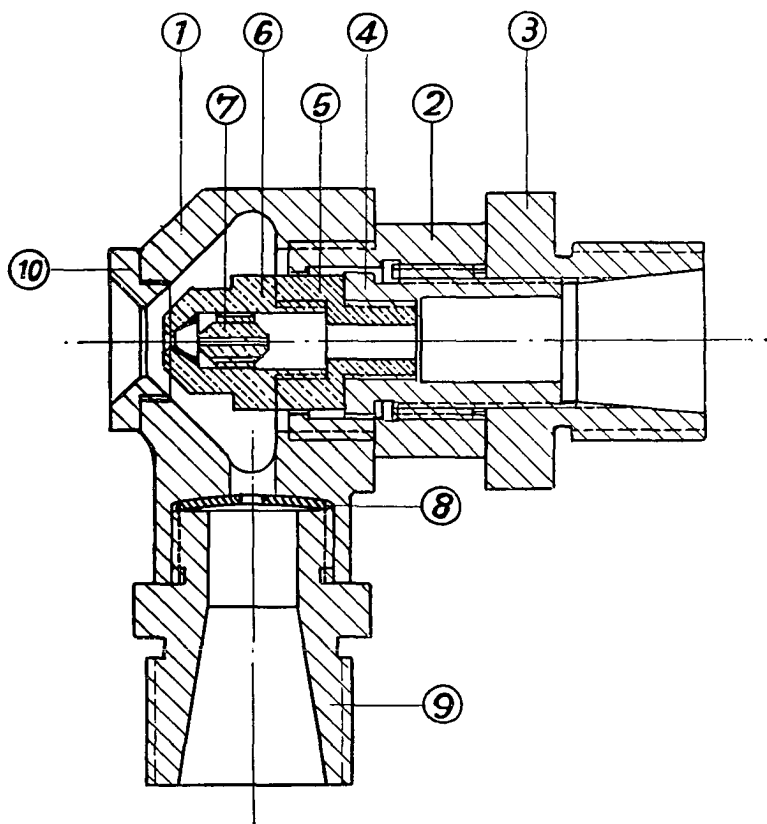


FIG. 61 B. — Rociador mixto de agua y aire (modelo B.E.F.).

1: Cuerpo del rociador. 2: Collar. 3: Conexión para la introducción del agua. 4: Porta-boquilla regulador de rosca. 5: Base de la boquilla. 6: Boquilla. 7: Canales helicoidales. 8: Disco. 9: Conexión para la introducción del aire. 10: Difusor cónico.

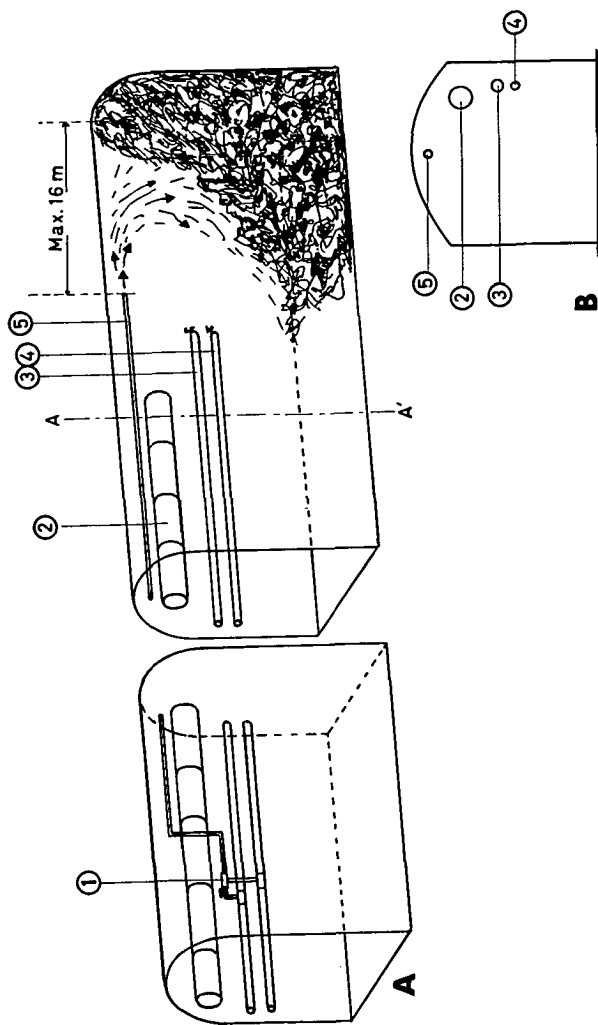


FIG. 62. — Posición del proyector de la cortina de agua atomizada en una galería.

A: Vista de conjunto. B: Sección en A-A'.

1: Proyector de la cortina de agua atomizada conectado con las tuberías de aire comprimido y de agua. 2: Conducto de ventilación. 3: Conducto de aire comprimido. 4: Conducto de agua. 5: Tubo del proyector (a 16 m del frente, como máximo).

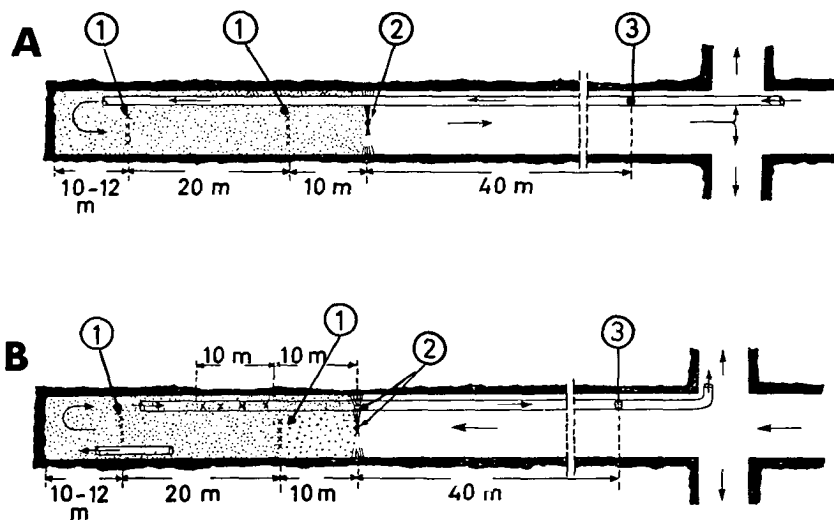


FIG. 63. — Lanzamiento de cortinas de neblina.

A: Ventilación por lanzamiento de aire. B: Ventilación por aspiración del aire.

1: Rociadores de agua y aire para el lanzamiento de la cortina de neblina. 2: Rociadores de agua. 3: Ventilador.

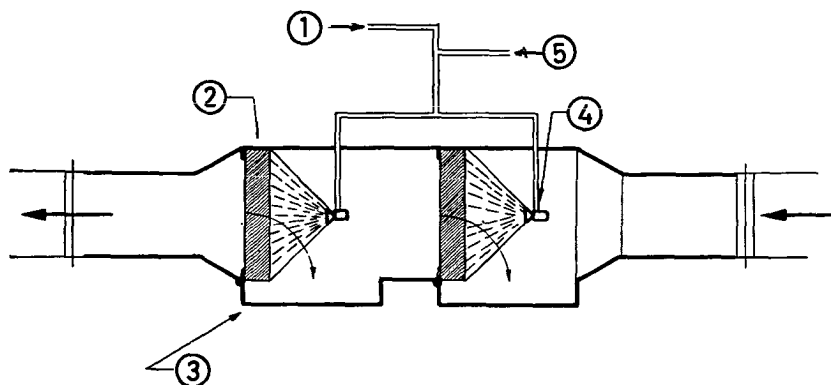


FIG. 64. — Precipitación del polvo en un conducto de retorno del aire.

1: Entrada del aire al rociador. 2: Posición del filtro durante la precipitación. 3: Nicho a que desciende el filtro cuando se lo deja de utilizar. 4: Rociador. 5: Entrada del agua.

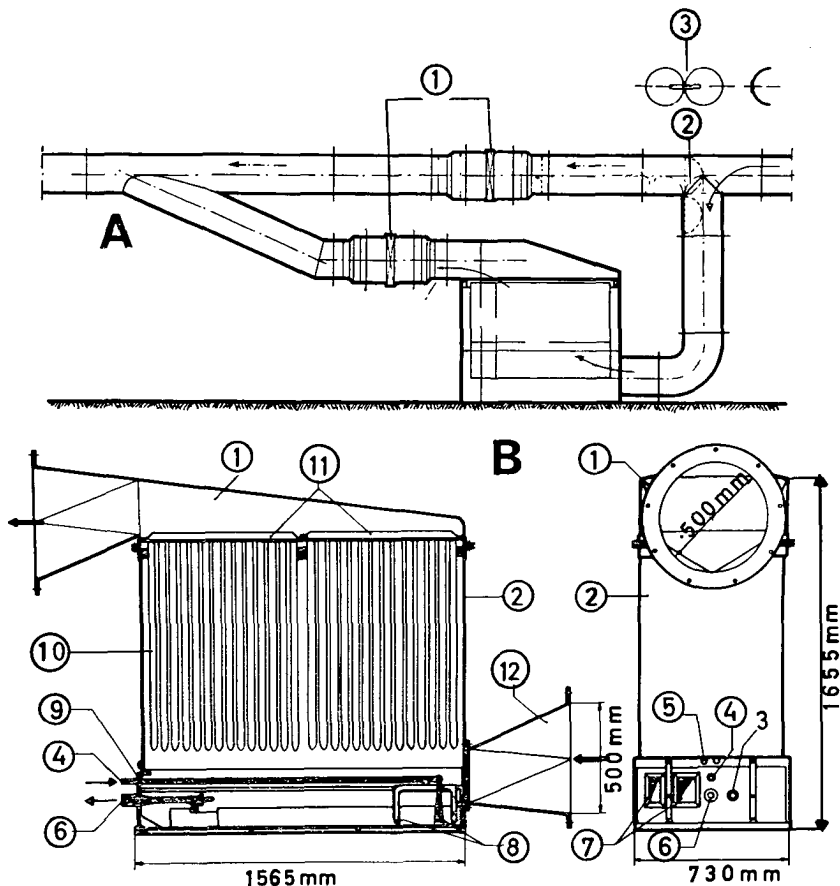


FIG. 65. — Filtro transportable para la eliminación del polvo producido por las voladuras.

A: Vista de conjunto. 1: Ventiladores. 2: Puerta articulada de cierre automático. 3: Detalle de la puerta articulada.

B: Sección vertical y vista del filtro de frente. 1: Cubierta. 2: Caja. 3: Toma de aire comprimido. 4: Toma de agua. 5: Botones de mando para el sacudimiento del filtro. 6: Salida del lodo. 7: Ventanas de observación. 8: Rociadores con raspador. 9: Bandeja de depósito del polvo. 10: Filtros de aire en el filtro. 11: Barras que sostienen los filtros. 12: Conexión para la introducción del aire en el filtro.

del conducto en que están los discos filtrantes debe ser el doble del diámetro del resto de la tubería de aspiración, para que durante las voladuras circule por él aire suficiente.

Filtración en seco

Para la supresión del polvo que contienen los humos producidos por las voladuras también se pueden utilizar instalaciones de filtración. Lo que actualmente da mejores resultados son las bolsas de tela filtrantes, que retienen hasta el 99 por ciento de las partículas respirables (control por recuento). En el capítulo V se han descrito varios tipos de filtros de tela. También existen filtros especiales transportables para combatir el polvo producido por las voladuras (véanse la figura 65 y la lámina V).

Estas instalaciones de filtración ocupan poco lugar y se las puede utilizar en el limitado espacio de que se suele disponer en las galerías, como se puede ver en la lámina V, sin que haya que hacer excavaciones especiales. Las bolsas filtrantes se limpian sacudiéndolas o golpeándolas, y el polvo en ellas retenido cae a un depósito que está debajo, del que luego se saca con agua o se lo pasa a bolsas especiales.

A pesar de la gran eficacia de los filtros de tela, incluso para la filtración de las partículas más pequeñas, cuando se trata de suprimir el polvo producido por las voladuras se los debería utilizar con cierta prudencia. Aunque su rendimiento sea efectivamente de 99 por ciento, si una nube de polvo contiene 25.000 partículas de menos de 5 micrones por centímetro cúbico, aun después de la filtración, y si el filtro funciona perfectamente, contendrá 250 partículas por centímetro cúbico, de manera que la concentración puede seguir siendo excesiva después de filtrado el aire. Además, dadas las grandes cantidades de polvo que producen las voladuras, los filtros se pueden atascar y perder completamente su eficacia. Por lo tanto, por regla general sólo se los debería utilizar cuando el programa de voladuras no es excesivo y controlando cuidadosamente su funcionamiento.

CAPÍTULO IX

ARRANQUE DEL CARBÓN

Donde es mayor la actividad en las minas de carbón es en el frente de arranque, y el problema de la supresión del polvo en el frente debe ser estudiado con el mayor detenimiento. Muchas de las rocas en que se efectúan operaciones mineras contienen sílice libre, y en las minas de carbón, el polvo, aunque compuesto en su mayor parte por partículas de carbón, contiene también partículas que se desprenden de las capas contiguas cuando se efectúan operaciones como las de perforación, las de recorte o las de relleno, y en algunos casos las de roza. Para eliminar o reducir el riesgo a que están expuestos los trabajadores durante estas operaciones, el único procedimiento satisfactorio es suprimir el polvo en el lugar mismo en que se lo produce.

En los últimos años se ha tendido en las minas de carbón a concentrar cada vez más la producción y a acelerar los trabajos de avance en el frente de arranque. Esta tendencia, que lleva aparejados una creciente mecanización y un constante perfeccionamiento de la maquinaria, acrecienta la importancia de los procedimientos para la supresión del polvo.

En términos generales, el polvo que se produce en las operaciones mineras en el frente de arranque del carbón tiene uno de los tres orígenes siguientes: movimientos del terreno en las zonas aún no explotadas que se hallan detrás del frente, operaciones de arranque propiamente dichas y operaciones secundarias efectuadas en el frente. En este capítulo se hablará principalmente del polvo que se produce por las dos primeras causas, y en el capítulo X, donde se trata del transporte de los productos, se examinará el tercer problema.

CONSIDERACIONES GENERALES

Sea cual fuere el sistema de arranque del carbón que se utiliza, es inevitable la producción de menudos de carbón y de pequeñas partículas de polvo, cuya cantidad y tamaño dependerán de las características físicas del carbón, de la naturaleza de la capa, de la preparación del frente de arranque, del tipo de máquina que para el arranque se utilice y de lo adecuada o inadecuada que sea para el trabajo que se está haciendo, y por último y principalmente del estado de los elementos de corte de la máquina y del buen funcionamiento general de ésta.

Características físicas del carbón

La friabilidad, las superficies de deslizamiento y el polvo que ya existe en el macizo mismo constituyen algunas de las características físicas que influyen en la cantidad y la naturaleza de los menudos de carbón y del polvo que se producen al aplicar determinado método de trabajo. Aparte del polvo que ya existe en las grietas, al trabajar en una capa de carbón se puede desprender polvo natural debido a la friabilidad del carbón y al método de explotación mecánica empleado. Se puede combatir el polvo natural inyectando agua en la capa de carbón antes de iniciar el arranque, pero la eficacia de este procedimiento dependerá de la naturaleza del carbón y de la estructura de las grietas y de las fallas.

Condiciones de la capa de carbón y estado del frente de arranque

La friabilidad de una capa de carbón es uno de los factores determinantes de la producción de polvo. No obstante, las fisuras que se puedan producir en la capa pueden tener particulares efectos, y los cambios de disposición de los estratos en las zonas parcialmente explotadas pueden dar por resultado una gran

producción de polvo que no existiría si el frente de arranque estuviera en una zona virgen. Por el contrario, los planos de clivaje de la capa pueden ser tales que durante el arranque mecánico se desmenuce mucho menos el carbón. En lo que hay que insistir es en que es muy importante estudiar bien el sistema de estratificación de la capa y el sistema de sostenimiento que se va a utilizar, para que este último sea el adecuado a las características naturales de la capa y al método de explotación que ha de seguirse.

En lo que se refiere al frente de arranque, se puede evitar mucho polvo si se lo limpia convenientemente y se cuida de que el suelo no esté cubierto de menudos de carbón u otros desechos.

Máquinas para el arranque del carbón

Si bien al elegir una máquina lo que hay principalmente que tener en cuenta son las necesidades de orden técnico de la explotación minera, también conviene asegurarse de que las condiciones del frente de arranque y de la capa de carbón se prestan para la utilización de esa máquina, de manera que la cantidad de polvo producida por su funcionamiento normal no aumente debido a una trituración excesiva del carbón.

Los principales elementos de una máquina de arranque son los de corte, o sea, los picos. El estado de los picos, su buen montaje y su buen corte son de mucha importancia, ya estén los picos montados en cadenas, en discos, en tambores o en cualquier otro tipo de cabezal giratorio. Una de las causas más frecuentes de la excesiva producción de polvo fino es la utilización de picos desafilados.

Se debe mantener la máquina en buen estado de funcionamiento, verificando y reparando regularmente los pequeños desperfectos que pueda tener, porque si los arados funcionan mal o resulta difícil gobernar bien la máquina se puede empezar a cortar en el techo o el muro o a hacer recircular carbón ya suelto, con lo cual aumenta la cantidad de polvo.

CONTROL Y SOSTENIMIENTO DEL TECHO

El buen control del techo y su adecuado sostenimiento tienen mucha importancia para la prevención del polvo, y éste es uno de los factores que no conviene olvidar. Se han hecho experimentos que en uno de los casos han mostrado que una reducción de 43 por ciento de la convergencia del techo y el muro entre el frente de talla y el relleno en un tajo largo daba por resultado una considerable reducción de la concentración media de polvo en suspensión en el aire, que medida con un precipitador térmico resultó ser de 1.400 partículas por centímetro cúbico a 650. El examen de la segunda serie de muestras mostró asimismo que la proporción de partículas muy finas había disminuído. En las labores de despilaramiento hay que tener en cuenta que conviene mantener la alineación para que el derrumbe sea uniforme y completo. Si se dejan en pie pilares aislados, el carbón no extraído se hallará sometido a una presión excesiva, lo cual hará aumentar la cantidad de polvo que se forma.

Además de controlar cuidadosamente los movimientos del terreno que se producen durante las operaciones mineras, se puede reducir en gran medida la cantidad de polvo que en ellas se desprende mediante las infusiones de agua. Este método consiste en inyectar agua entre los planos de clivaje y en las grietas que se han abierto en la capa, para humedecer el polvo que allí hay y evitar que se desprenda durante las labores de arranque. De la infusión de agua volverá a hablarse en otra de las secciones de este capítulo.

LOS MARTILLOS PICADORES

Los martillos picadores se utilizan mucho cuando las labores de arranque del carbón están mecanizadas, para desprender el carbón después de las voladuras o en lugar de éstas, y a veces también se los emplea en las capas blandas en vez de hacer el descalce por procedimientos mecánicos. En el recorte del techo y en otros trabajos en roca blanda que se efectúan en las galerías y otras excavaciones también se utilizan los martillos picadores.

El polvo producido por los martillos picadores se debe principalmente a la pulverización del mineral en el punto de percusión. El aire que sale del escape de la máquina y las fugas de aire pueden asimismo levantar una cantidad considerable de polvo. Otra de las causas importantes de producción de polvo es la caída al suelo del mineral aflojado. Para reducir la cantidad de polvo que por estas razones se produce se han estudiado detenidamente la construcción de los martillos picadores y diversos sistemas de trabajo en que se combina la utilización de estos martillos con los rociamientos o la inyección de agua.

Construcción de los martillos picadores

Cuando se trabaja con martillos picadores, la producción de polvo depende en gran medida del aguzamiento de la pica. Si las picas tienen buen corte y la fuerza motriz es la adecuada, no sólo se reducirá la cantidad de polvo que se produce por unidad de trabajo, sino que también se reducirá el tiempo necesario para efectuar ese trabajo y por lo tanto el de exposición del personal al polvo. Si se quiere evitar la excesiva producción de polvo hay que cuidar muy bien los aparatos y proporcionar a los trabajadores la suficiente cantidad de picas.

La posibilidad de reducir la agitación del polvo producida por el aire que sale del escape de la máquina y por las fugas de aire de la misma merece detenido estudio por parte de los fabricantes de martillos picadores. La velocidad del aire que sale del escape se debería reducir todo lo posible, y además se debería desviar el aire de manera que no fluya en dirección al suelo o al frente de talla. Las fugas de aire suelen deberse a falta de hermeticidad: el aire atraviesa el martillo y se escapa a lo largo de la pica. La importancia de estas fugas depende del estado de la máquina, pero en la práctica es imposible eliminarlas por completo. Se han ensayado varios sistemas de desviación de esta corriente de aire, en especial montando discos o rodela de caucho sobre la pica o anillos obturadores en el interior del portabarrenas, pero ninguno de ellos ha resultado verdaderamente eficaz. Además, los anillos

obturadores montados en el interior tienden a reducir el rendimiento del martillo picador (véanse las figuras 66, 67 y 68).

Utilización del agua

A causa de los inconvenientes que se acaban de exponer, cuando se emplean martillos picadores hay que tomar medidas para la supresión del polvo. Con este fin se ha utilizado el agua, regando a mano el punto de ataque del martillo o utilizando dispositivos de inyección lateral o dispositivos de inyección central, incorporados estos últimos a los martillos.

El primer sistema que se aplicó fué el de lanzar un solo chorro de agua al punto de ataque del martillo, pero se obtuvieron mejores resultados con varios chorros de agua que forman un cono en torno de ese punto de ataque. Para evitar que se trabaje en seco, el suministro de agua está controlado mediante una válvula que regula al mismo tiempo la entrada de agua y la de aire, la cual deja pasar una cantidad de agua, fija o variable, durante todo el tiempo que el martillo está en funcionamiento. La posibilidad de regular la cantidad de agua tiene ciertas ventajas, sobre todo cuando se trabaja en capas blandas en que el martillo puede desprender grandes cantidades de carbón, con las correspondientes posibilidades de que se produzca más cantidad de polvo.

Hay quienes señalan en los martillos picadores con inyección de agua el inconveniente de que los trabajadores que los manejan se mojan al trabajar con ellos, bien sea porque hay escapes en el sistema de alimentación de agua, bien porque el agua los salpica al rebotar contra el frente de arranque. Este inconveniente se puede obviar en gran medida si se mantienen los martillos en perfecto estado y se regula la presión del agua; además, la experiencia enseña a los trabajadores a vencer las dificultades con que al principio tropiezan. Por otra parte, algunos martillos tienen una especie de faldón, o algún otro aditamento que protege a los trabajadores de las salpicaduras.

Varios son los inconvenientes que presenta la utilización de martillos picadores con inyección de agua y muchos son sus

FIG. 66. — Retenedor de barrena perforado para martillo picador, que desvía las fugas de aire del frente de arranque.

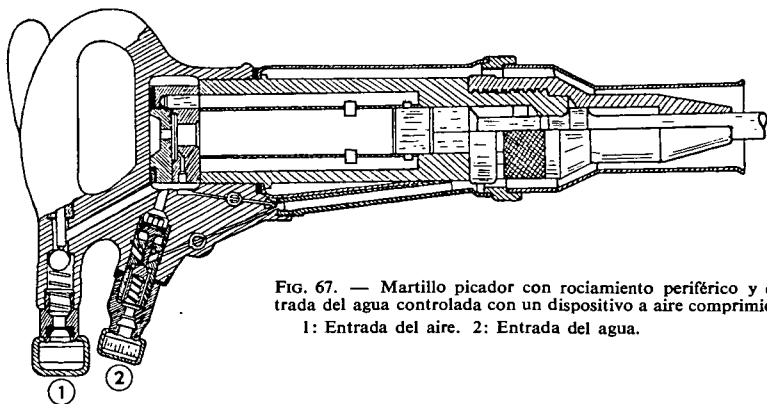
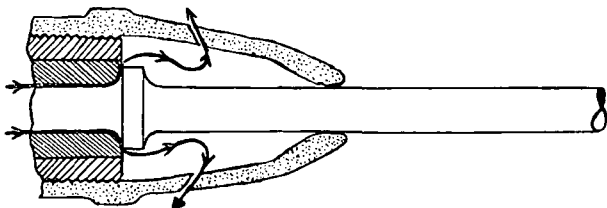


FIG. 67. — Martillo picador con rociamiento periférico y entrada del agua controlada con un dispositivo a aire comprimido.
1: Entrada del aire. 2: Entrada del agua.

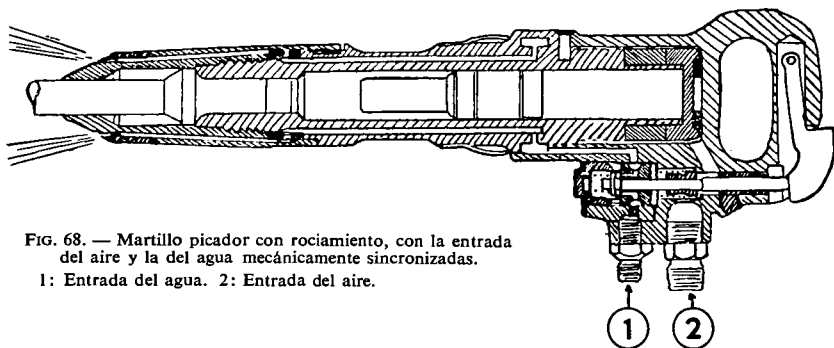


FIG. 68. — Martillo picador con rociamiento, con la entrada del aire y la del agua mecánicamente sincronizadas.

1: Entrada del agua. 2: Entrada del aire.

detractores, y entre los inconvenientes están el aumento de volumen y el estorbo que representa el sistema de alimentación de agua de la máquina, más los problemas especiales de conservación que crea la utilización del agua. No obstante, en los últimos años se lo ha estado utilizando bastante más que antes, y no cabe duda de que facilitan la supresión del polvo.

Martillos picadores con nebulizadores.

Se fabrica actualmente un tipo de martillo picador que lanza una mezcla de agua y aire al punto de ataque de la pica. La utilización de este tipo de martillos no es aconsejable, ya que se ha comprobado que su eficacia para la supresión del polvo no es la que convendría.

Condiciones de utilización.

Los martillos picadores con inyección de agua se pueden utilizar para el arranque del carbón tanto en las capas horizontales como en las inclinadas. Dan resultados especialmente buenos en las capas delgadas o medianas, porque el trabajador que los maneja no tiene en esos casos que levantar el martillo a mayor altura que la de su hombro. También han dado buenos resultados en las labores de recorte, en las cuales los ensayos efectuados en ciertas condiciones han mostrado que la producción de polvo quedaba reducida en más de 90 por ciento, y en el recorte de muescas y otros tipos de trabajos en roca dura el resultado ha sido análogo.

ROZADORAS

Todas las máquinas rozadoras y de arranque tienen por objeto fragmentar el carbón. Las rafadoras de pico, ya estén montadas sobre cadenas, sobre discos o sobre tambores, fragmentan violentamente el material, con lo cual se puede producir gran cantidad de polvo. También se puede desprender polvo por otras causas secundarias, entre ellas la caída de bloques de carbón, el funciona-

miento del escape de aire de las máquinas que trabajan con aire comprimido o el propio movimiento de las máquinas.

Roza con humidificación del material

La gran cantidad de polvo que desprenden las máquinas rozadoras hizo ver rápidamente que hay que utilizar agua cuando se las emplea. El primer procedimiento que se aplicó, que era el de riego exterior a mano, no resultó muy eficaz para la humidificación de las grandes cantidades de menudos de carbón que con estas máquinas se producen.

Más tarde se recurrió al riego « exterior » por medio de chorros de agua dirigidos contra el tajo o contra la cadena portacuchillas de la rafadora desde ciertos puntos de la máquina. Los mejores resultados se obtienen dirigiendo el agua de arriba abajo, hacia la base del pico, sobre el lado del brazo de la rafadora donde la cadena entra en el tajo, de manera que el agua y el barro sean arrastrados dentro del tajo. Se ha comprobado asimismo que conviene dirigir un segundo chorro de agua contra el lugar donde la cadena sale del tajo (véanse las figuras 69 y 70).

Para conseguir una mezcla más homogénea del agua y el polvo se trató de instalar un sistema de riego dentro del brazo de la rafadora, pero los inconvenientes resultantes de los deterioros del circuito de alimentación y de la obturación de los orificios de salida impidieron durante varios años la adopción de este procedimiento. El principio es aplicable tanto a la roza en el muro y en el techo como a la roza vertical, y su aplicación es particularmente apropiada cuando se utilizan máquinas eléctricas, caso en el cual, por razones de seguridad, puede no convenir en ciertas circunstancias el riego exterior. Además de suprimir el polvo, el riego de los puntos de ataque del pico durante la roza tiende a evitar la inflamación de la atmósfera debida a las chispas producidas por rozamiento (véase la figura 71).

El *dust suppression jib*, ideado por el personal de los servicios de investigación de la Oficina Nacional del Carbón del Reino Unido, es uno de los dispositivos más eficaces para reducir

FIG. 69 (abajo). — Rociadores exteriores montados sobre una rozadora «longwall».
1: Rociadores.

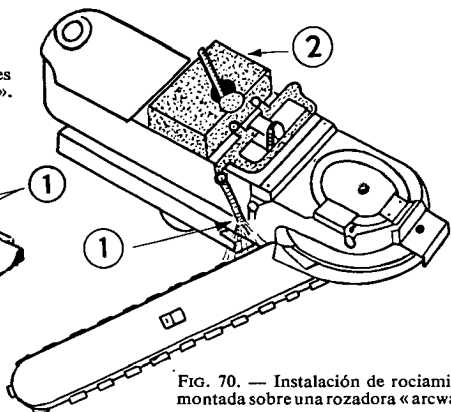
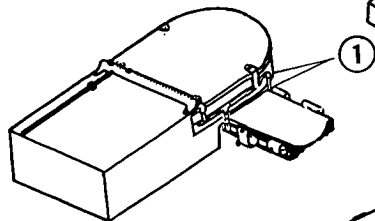
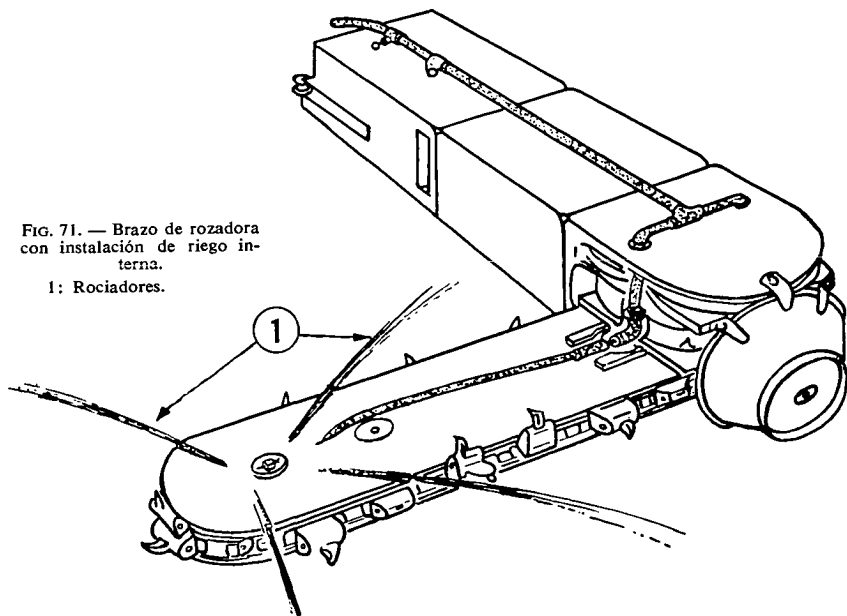


FIG. 70. — Instalación de rociamiento montada sobre una rozadora «arcwall».
1: Rociadores. 2: Depósito de agua.

FIG. 71. — Brazo de rozadora con instalación de riego interna.
1: Rociadores.



la cantidad de polvo que se produce en las labores de roza. Se trata de un brazo que tiene en su interior un sistema de paso de agua inobturable, y del cual se afirma que puede reducir la cantidad de polvo respirable en una proporción de entre el 13 y el 60 por ciento, o más, en comparación con los procedimientos de roza en seco. Este brazo tiene un tubo flexible de nilón por el que pasa el agua desde la rafadora hasta un depósito situado en el extremo delantero del brazo, desde el cual se la inyecta a través de unas ranuras abiertas en la placa superior del mismo. A la velocidad normal de roza, la cantidad de agua utilizada es de 15 l/min, como máximo (véase la figura 72).

Un detalle importante que hay que tener en cuenta en las operaciones de roza con humidificación del material es que el dispositivo de control del agua debe estar instalado en la máquina misma, pues de no ser así el trabajador que la maneja puede verse tentado a trabajar en seco o, por el contrario, a regar en demasía el material y a dejar que el agua siga corriendo cuando la máquina deja de funcionar.

Otra cosa que hay que recordar es que si bien por los métodos que se acaban de exponer se puede reducir considerablemente la concentración de partículas gruesas de polvo en suspensión en el aire (probablemente en 80 por ciento), su eficacia en lo que respecta a las partículas respirables de menos de 5 micrones es mucho menor, ya que el efecto del agua como agente de precipitación del polvo se reduce rápidamente por debajo de ese tamaño de partículas, como se ha indicado en el capítulo III.

Causas secundarias de producción de polvo

La rapidez con que avanzan los trabajos de roza y las dimensiones de los menudos de carbón dependen del buen o del mal corte de los picos, así como de su forma y de su estado de conservación. Si los picos tienen el filo embotado producirán más polvo y polvo más fino que si están bien afilados; además, si están mal dispuestos o falta alguno de ellos, o si un brazo está torcido o en mal estado, no sólo disminuirá el rendimiento de la rafadora, sino que

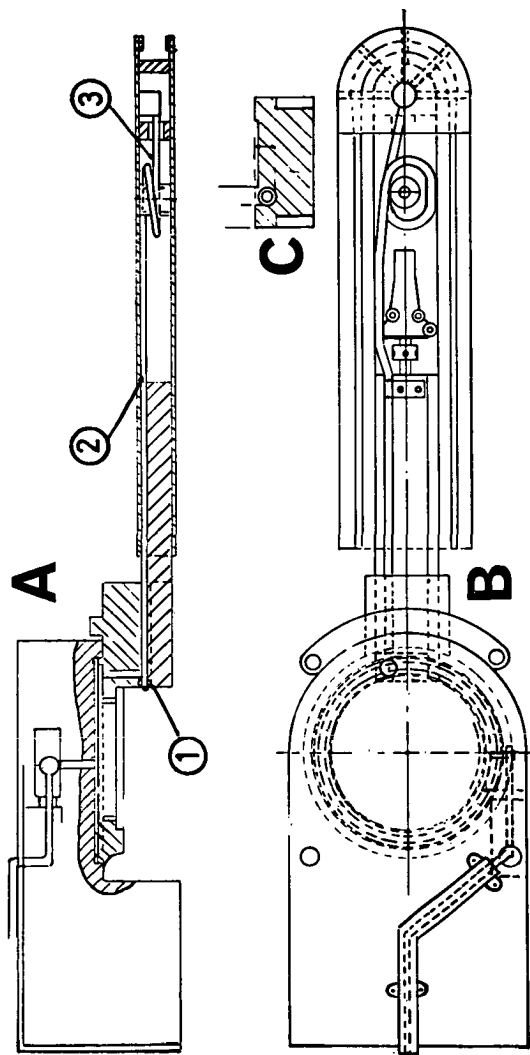


FIG. 72. — Brazo de roza con humidificación del Central Engineering Establishment (Reino Unido).

A: Sección vertical. B: Vista desde arriba (quitadas las placas superiores). C: Sección del soporte del brazo.

1: Paso automático del agua por una junta toroidal cuando el eje del brazo está introducido en el cabezal. 2: Tubo de acero de 9 mm de diámetro exterior. 3: Tubo flexible.

El agua pasa del cabezal al brazo de roza por un conducto abierto en el soporte del brazo y cerrado por juntas toroidales en cada uno de sus extremos.

además tenderá a aumentar la proporción entre partículas finas y partículas gruesas de polvo. Éstas son cuestiones que se deben considerar tan importantes como las medidas tendientes a impedir que el polvo que se produce pase al aire y quede en suspensión en él.

Las máquinas de arranque del carbón están concebidas de manera que pueden cortar el frente a diferentes alturas. Cuando la roza se efectúa por encima del muro, el agua debería pasar por el brazo de manera que el chorro vaya dirigido al tajo, y convendría utilizar una canaleta o un conducto para descargar los menudos de carbón sobre el suelo o sobre un transportador, de manera que no pase a la atmósfera sino el mínimo posible de polvo fino. Cuando la roza se efectúa al nivel del muro conviene utilizar dispositivos que hagan salir del tajo los menudos de carbón, porque evitan en gran medida que la cadena los recoja de nuevo y los reitire.

Si se utilizan máquinas rozadoras a aire comprimido se debe cuidar de que el escape de aire esté dispuesto de modo que no pueda levantar el polvo que haya en el suelo o en otras superficies vecinas. La utilización de máquinas eléctricas es desde este punto de vista ventajosa.

También se han estudiado otros factores que influyen en la producción de polvo, como la profundidad del tajo y la velocidad de la cadena, y se ha examinado la posibilidad de emplear un sistema de aspiración de las partículas de polvo finas. Se ha comprobado que el grado de dispersión del polvo varía según la clase de carbón y depende de la humectabilidad del mismo, y también se ha comprobado que al cortar las intercalaciones de roca estéril es muy probable que se produzca más polvo que en la roza del carbón. Es posible que un estudio más profundo de estas cuestiones y de la posibilidad de lograr la precipitación de las partículas mediante su humidificación, unido a los ensayos prácticos en el fondo de las minas, permita perfeccionar los métodos de lucha contra el polvo empleados durante la roza y cuando para el arranque del carbón o de otras capas de terreno se utiliza cualquier tipo de máquina con picos de movimiento rápido.

Suministro de agua

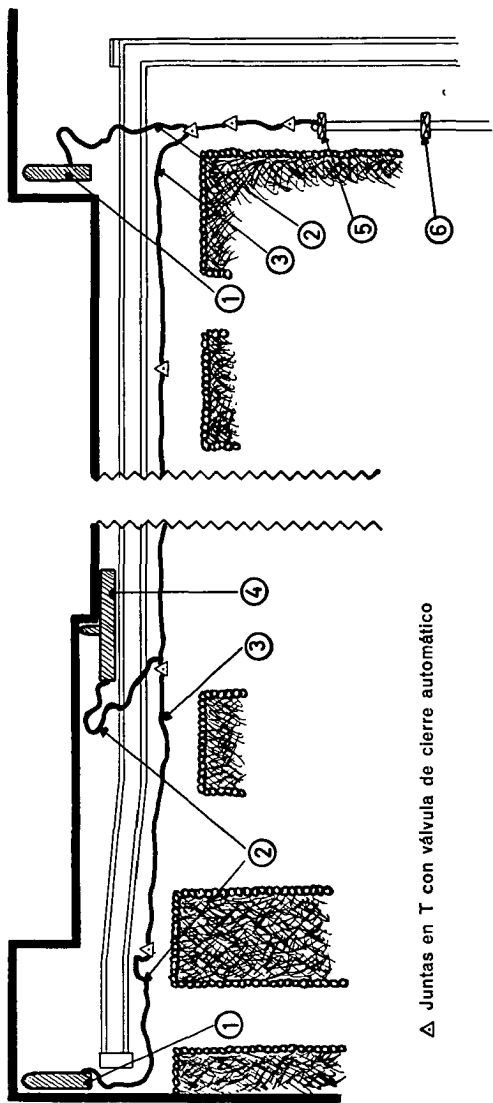
En todo frente de arranque explotado mecánicamente es absolutamente necesario disponer constantemente de agua limpia a una presión apropiada (de 4 a 7 kg/cm² o más), y hay que estudiar muy detenidamente la instalación de la red de suministro y mantenerla siempre en buen estado. Se debería hacer pasar a lo largo del frente una tubería con diferentes tomas en las que se pueda conectar un tubo flexible que pueda ser arrastrado por las máquinas móviles (véase la figura 73).

En los lugares de trabajo secundarios o cuando se efectúan operaciones de carácter temporario y no se pueden instalar tuberías, el suministro de agua se puede asegurar por medio de tanques transportados junto con las máquinas o montados cerca del lugar de trabajo y dando el agua a las máquinas con ayuda de pequeñas bombas instaladas en los tanques.

Cuando se hace la roza con humidificación del material es muy importante evitar el exceso de agua, ya que puede tener efectos perjudiciales sobre las capas y causar inconvenientes en las operaciones de tratamiento del mineral que se efectúan en la superficie. Los perfeccionamientos técnicos del tipo de los anteriormente mencionados y el apropiado control pueden ayudar mucho a economizar agua.

Utilización de la espuma durante la roza

Se han hecho experimentos en los que se ha substituído el agua corriente por la espuma de soluciones más o menos concentradas de agentes humectantes. Por lo que atañe a las partículas de polvo respirables, parece que los resultados obtenidos no han sido mucho mejores. Sin embargo, se ha observado que con la espuma se elimina en mayor medida el polvo cuando se trabaja en antracita, que es difícil de humedecer, y que también da buenos resultados si se la utiliza durante la carga de los menudos de carbón, especialmente cuando la corriente de ventilación es muy desecante, pero en general se ha comprobado que es mejor utilizar el agua pura.



△ Juntas en T con válvula de cierre automático

FIG. 73. — Sistema de suministro de agua a un frente de arranque.

1: Rozadoras. 2: Tubos flexibles arrastrados por las máquinas. 3: Tuberías de conducción del agua a alta presión (20 m de largo). 4: Rozadora-cargadora. 5: Válvula amortiguadora y válvula de seguridad. 6: Llave para cortar el agua instalada en el conducto de alimentación.

ARRANQUE Y CARGA MECÁNICOS

Mecanizar las operaciones de arranque y carga equivale a concentrar, tanto en el espacio como en el tiempo, todas las operaciones que con los antiguos métodos de explotación se llevaban a cabo en una amplia zona de la mina y para las cuales se necesitaban diferentes equipos de trabajadores que las efectuaban en dos o más turnos de trabajo. Por lo tanto, la producción de polvo tiende a ser mucho mayor y hay que intensificar la lucha contra el mismo.

Por otro lado, la concentración de estas operaciones en un espacio más reducido debería simplificar la aplicación de las medidas tendientes a suprimir el polvo y darles mayor eficacia. La exposición de los mineros al polvo nocivo, en proporción con el número de toneladas de carbón extraído, se debería reducir, y mejorarían aún más las condiciones con la supresión de las voladuras, que siempre producen una considerable cantidad de polvo.

Aunque el funcionamiento de la mayor parte de estas máquinas está basado en ciertos principios conocidos, tales como la acción de los picos en las arrancadoras rotativas, la de laminación o de arranque por cuñas de las rebanadoras-cargadoras y de diversos tipos de arados mecánicos, o la de talla de las rozadoras de brazos múltiples, es difícil determinar las medidas de supresión del polvo que conviene tomar con cada tipo de máquina. Cada caso se debe estudiar y resolver por separado, teniendo en cuenta las condiciones en que ha de trabajar la máquina. No obstante, todos los modelos de máquinas deberían estar provistos de una instalación corriente de riego, como elemento básico para la lucha contra el polvo que se podrá modificar o perfeccionar cuando las circunstancias lo requieran.

Elección de las máquinas

Las posibilidades de utilización de una u otra máquina dependen de diversos factores, tales como el espesor y la inclinación de la capa, la naturaleza del carbón, las condiciones del techo

y del muro, los problemas de transporte, la presencia de grisú y la posible degradación del producto. Los principales tipos de máquina utilizados son los siguientes:

a) las rozadoras-cargadoras de tambor, máquinas parecidas a las rozadoras ordinarias pero que en vez de tener un brazo de roza tienen un tambor con varios picos y dispositivos que dirigen el carbón arrancado a un transportador;

b) las rozadoras de brazos múltiples, que tienen dos brazos horizontales (uno que trabaja al nivel del techo y otro que trabaja al nivel del muro) y otro brazo que hace un corte vertical, y que tienen asimismo un pequeño transportador transversal que conduce el carbón al transportador del frente de arranque;

c) las máquinas de trépano, en que el instrumento de corte es una corona o rueda que gira en un plano que forma un ángulo recto con el frente de arranque y picos montados en la periferia de la corona, en la dirección de avance de la máquina, que cortan el carbón, el cual es lanzado sobre un transportador paralelo a la máquina;

d) los arados para carbón, que desprenden una lámina de carbón y la lanzan lateralmente sobre un transportador, tipo de máquina en que hay variantes, principalmente en cuanto a la profundidad del tajo en relación con la velocidad de avance de la máquina;

e) ciertos tipos de máquinas que son combinaciones de dos o más de los tipos fundamentales anteriormente descritos.

Para poder utilizar eficazmente el agua en la lucha contra el polvo es preciso conocer los principios de estas máquinas y saber cómo funcionan. Además, hay que tener en cuenta los cambios de estado del carbón, el corte en intercalaciones de roca estéril, en el techo o en el muro (que produce polvo más peligroso y difícil de eliminar) y el número de operaciones que se están efectuando al mismo tiempo. Por otra parte, todas estas máquinas presentan grandes diferencias, tanto en su construcción y en la

acción del elemento de corte como en la velocidad de talla y el método de carga.

Lo más importante es determinar exactamente la cantidad de polvo que se produce en las operaciones mecanizadas, lo cual entraña la realización de una serie de detallados estudios sobre el polvo y la ventilación a fin de medir las concentraciones de polvo en suspensión en el aire en todas las etapas de la operación y averiguar, mediante el análisis de muestras del polvo, el origen de todas las partículas en suspensión en el aire. Finalmente, habrá que seguir tomando muestras para verificar la eficacia de las medidas de supresión del polvo, muy especialmente en los alrededores del lugar donde están funcionando las máquinas, a fin de determinar el contenido en polvo del aire que respiran los trabajadores que las manejan.

En general, se ha comprobado que los procedimientos de arranque por arado, cuñas o troceo pueden producir menos polvo que la roza. Cualquiera que sea el procedimiento utilizado, conviene recordar la importancia que tienen el tipo y el estado de los elementos de corte de las distintas máquinas y la adecuada conservación de éstas.

Los rociadores que se montan en estos tipos de máquinas deben servir para regar el elemento de corte en el momento del ataque, de manera que la mayor cantidad posible de polvo quede aglomerada ya en el punto de origen, para lo cual se debe inyectar el agua a fuerte presión (de hasta 15 kg/cm^2). También se debería dirigir el chorro de algunos rociadores en el sentido contrario al de la caída del carbón. A fin de reducir todo lo posible la dispersión del polvo conviene utilizar capuchones o bandas deflectoras que desvien la corriente de ventilación. En las figuras 74, 75 y 76 se pueden ver ejemplos característicos de disposición de los rociadores montados sobre las máquinas de arranque del carbón.

Máquinas de avance continuo

Las máquinas de avance continuo tienen uno o varios tipos de elementos de corte y además un dispositivo de carga. Tam-

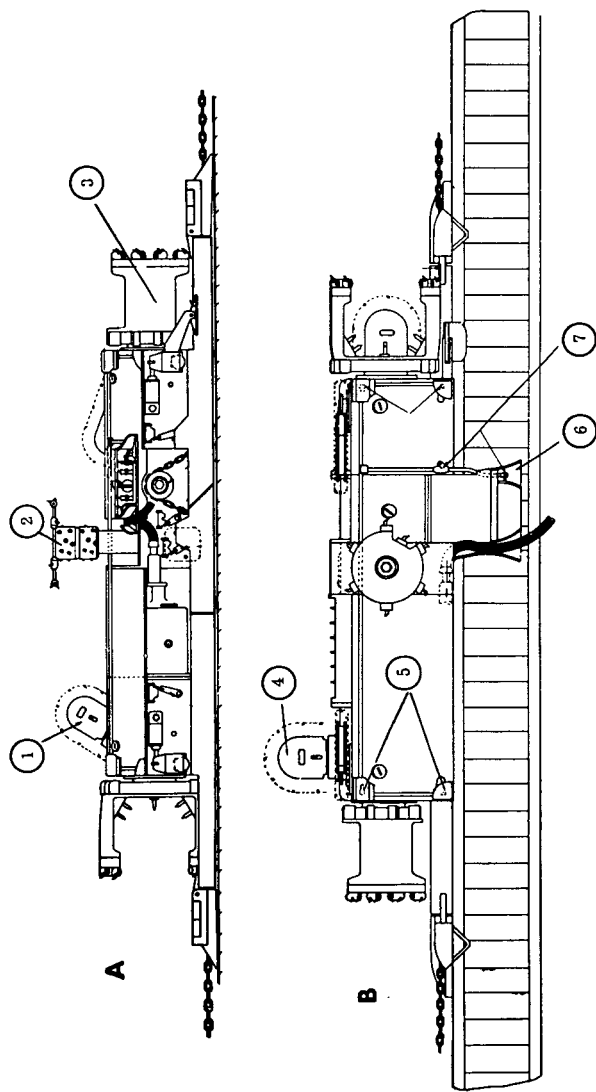


FIG. 74. — Rociadores montados sobre una rozadora de trépano.

A: Sección vertical. B: Proyección horizontal.

1: Brazo de entalladura vertical. 2: Discos de roza en el techo. 3: Cabezal giratorio. 4: Brazo inferior. 5: Rociadores. 6: Tambor de guía de los tubos de conducción de agua. 7: Válvula y filtro para el agua.

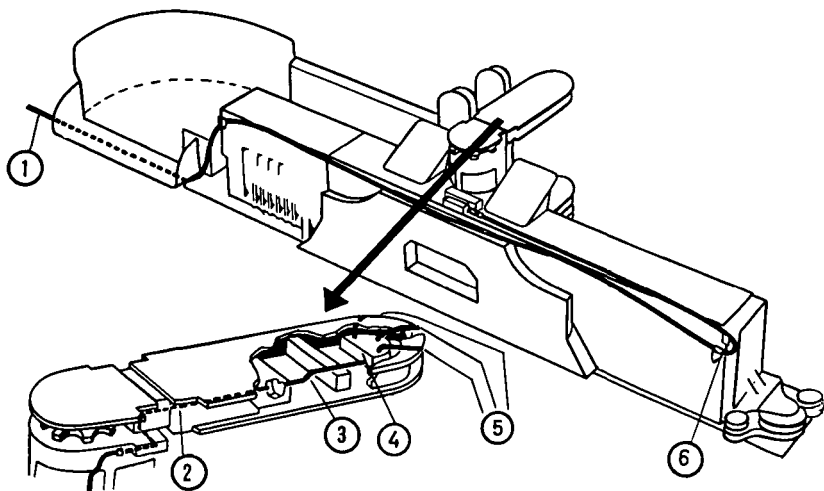


FIG. 75. — Rozadora-cargadora « Gloster Getter » con el sistema de alimentación en agua del brazo horizontal superior.

1: Tubo flexible. 2: Orificios abiertos en los montantes del soporte del brazo. 3: Conexión de los tubos flexibles. 4: Depósito de agua. 5: Tubos de alimentación de los rociadores, soldados en las placas del brazo. 6: Llave para cortar el agua.

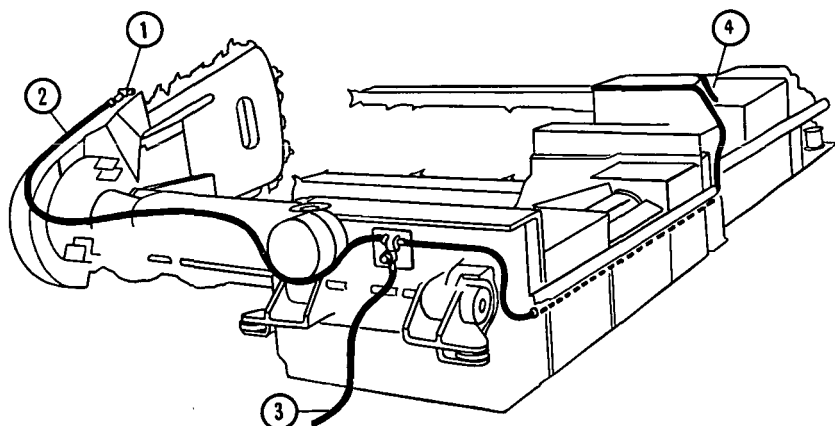


FIG. 76. — Rozadora-cargadora « Meco Moore » con el sistema de alimentación en agua de los brazos.

1: Rociadores dirigidos hacia lo alto del tajo. 2: Tubo flexible. 3: Conexión entre la válvula de control y la red de distribución de agua. 4: Segunda conexión.

bién se han hecho ensayos con taladradoras y máquinas de trépano y de barrena. Estas máquinas, que se utilizan en la explotación por cámaras y pilares y para abrir rápidamente galerías, atacan el frente en ángulo recto. Últimamente se ha empezado a utilizar una máquina que permite acelerar las labores de recorte.

Los primeros ensayos que se hicieron en los Estados Unidos con la máquina denominada *continuous miner* mostraron que las nubes de polvo producidas por esta máquina en la zona del frente de arranque se extendían asimismo por la galería de retorno del aire. También se comprobó que era indispensable que el trabajador que manejaba la máquina tuviera puesta una máscara de protección y que delante de la máquina la visibilidad era nula.

Esta situación ha mejorado mucho gracias a los métodos de riego perfeccionados que se han descrito en este capítulo, y especialmente a la mejor ventilación y al más perfecto control de ésta. En el capítulo IV se ha hecho referencia a este problema y se han explicado varios sistemas de ventilación. A pesar de la gran cantidad de polvo producido por este tipo de máquinas, si se estudia detenidamente el sistema de circulación de aire y se recurre a una ventilación auxiliar apropiada se puede eliminar prácticamente toda concentración excesiva de polvo en el lugar en que se las maneja, y también se pueden tomar medidas para que el polvo arrastrado por la corriente de retorno del aire sea recogido o eliminado sin riesgo alguno.

INFUSIÓN DE AGUA

Al explotar minas de carbón naturalmente húmedas se ha advertido que la cantidad de polvo en suspensión en el aire era muy inferior a la resultante de operaciones análogas efectuadas en las minas secas. La infusión de agua en el macizo de carbón para reproducir las condiciones reinantes en las minas húmedas y reducir así la cantidad de polvo producida se intentó por vez primera en Alemania a principios de este siglo, con resultados hasta cierto punto satisfactorios en algunas clases de carbón.

Las aplicaciones de este procedimiento que se han hecho a partir de 1940 han hecho ver que es uno de los medios más eficaces para suprimir el polvo que se produce en las operaciones de arranque. Al principio se trataba de humedecer las principales fallas y los principales planos de clivaje abriendo en los frentes de arranque orificios poco profundos por los cuales se inyectaba el agua a baja presión. Estos ensayos se limitaron a los frentes de arranque en que se trabajaba a mano. Más tarde se hicieron nuevos intentos con presiones más fuertes en los frentes de arranque explotados mecánicamente, pero actualmente se duda de que en estos primeros intentos se hubiera logrado humedecer el macizo en medida suficiente para reducir la producción de polvo. Cuando la capa tiene pocas fallas o fisuras o no tiene ninguna, el agua no puede penetrar, mientras que, al contrario, cuando hay grandes fracturas el agua puede atravesar el frente y pasar más allá de él sin llegar a penetrar en la parte que se desea humedecer, lo cual hay que tener en cuenta cuando hay fallas o fisuras importantes.

Al comprobarse que los resultados obtenidos con la infusión de agua a baja presión no eran muy buenos se hicieron nuevos ensayos con presiones mucho más elevadas, y se vió que en las zonas donde no hay grandes fisuras era necesario perforar orificios de 10 a 15 metros en los frentes. Asimismo se advirtió que se necesitaban presiones de hasta 350 kg/cm^2 para vencer la resistencia inicial de la capa, es decir, del punto en que el agua empieza a penetrar en el carbón. Luego disminuye la presión, al irse extendiendo el agua bastante detrás del frente por todas las pequeñas fisuras que encuentra, creando así una humedad artificial. El propósito es aumentar el contenido en agua de la capa lo suficiente para aglomerar el polvo y evitar que pase al aire durante las operaciones que después se efectúan.

Habida cuenta de que con la infusión de agua se reduce de manera evidente la producción de polvo, la reunión de expertos en materia de prevención y de supresión del polvo en las minas, los túneles y las canteras organizada por la O.I.T. en 1952 recomendó que, de ser necesario y posible, se inyecte agua en el macizo antes de iniciar las labores de arranque.

Posibilidades de aplicación del procedimiento

La infusión de agua puede ser hecha en todos los tipos de capas de carbón. Las horizontales son las que mejor se prestan para ello, por razones obvias; además, en estas capas es más fácil dirigir y verificar la penetración del agua. Este procedimiento no se debería aplicar cuando sus efectos sobre el techo o el muro puedan ser desfavorables, dadas las consecuencias que ello entraña para el control del techo, y en las minas muy húmedas y calientes hay que tener en cuenta los efectos que esa cantidad de agua suplementaria puede llegar a tener en las condiciones atmosféricas de la mina.

Como de lo que con este procedimiento se trata es de perforar orificios en el macizo atravesando el mayor número posible de planos de clivaje principales, es evidente que la dirección de avance del frente de arranque en relación con el sentido de los planos de clivaje influirá notablemente en el resultado de la operación. Así, pues, convendría tener muy en cuenta la necesidad de inyectar agua cuando se proyectan nuevos trabajos.

Si bien la infusión de agua es más adecuada cuando la explotación se hace por tajos largos que cuando se trata de una explotación mecánica rápida por cámaras y pilares, se han obtenido satisfactorios resultados al aplicar este procedimiento para la extracción de los pilares en un yacimiento en que la excesiva presión de los terrenos tendía a quebrantarlos y donde se habría producido una enorme cantidad de polvo si se utilizaran los métodos de explotación convencionales.

Se ha comprobado que la infusión de agua da buenos resultados en condiciones de explotación muy diferentes, pero suele haber que adaptar el procedimiento a cada caso particular. Se deberían hacer experimentos prácticos para encontrar nuevas aplicaciones de la infusión de agua y estudiar los efectos de la presión, de la cantidad de agua inyectada y del tiempo que dura la infusión, y la manera de perforar los orificios para obtener los mejores resultados posibles.

*La infusión de agua en la explotación
por tajos largos*

Cómo se deben perforar los orificios de inyección.

Por lo general, los orificios de inyección se perforan en el frente de arranque en la dirección del avance, pero hay un segundo método que consiste en perforar los orificios paralelamente a la línea del frente y a unos 30 cm más allá de la faja de carbón que se ha de arrancar. Se deberían hacer varios ensayos para encontrar la manera más conveniente de perforar los orificios en cada caso particular. Entre los factores que hay que tener en cuenta para determinarla están el espesor, la naturaleza y el grado de dureza de la capa de carbón, la existencia y la situación de intercalaciones de roca estéril, la naturaleza del techo y del muro y, como se ha dicho anteriormente, la orientación de la línea del frente en relación con los planos de clivaje. Cuando hay en el macizo una o más intercalaciones estériles, que actúan como barreras e impiden que el agua se disperse, los orificios se deben perforar oblicuamente, de manera que atraviesen todas las capas de carbón; si es imposible hacerlo así, hay que abrir orificios de diferentes profundidades y al tresbolillo en diferentes planos del frente para poder inyectar por separado cada banda de carbón. En las capas horizontales o ligeramente inclinadas en que no hay intercalaciones estériles, los orificios se deberían abrir en la mitad superior del frente, para impregnar lo más posible la parte del macizo que cae desde más lejos durante el arranque y para tener en cuenta la gravedad, que tiende a facilitar el descenso del agua. En todos los casos hay que cuidar de que los orificios no penetren ni en el techo ni en el piso, porque se pueden disgregar las capas y puede resultar difícil el sostenimiento del techo.

Distancia que debe haber entre un orificio y otro.

La distancia que ha de haber entre un orificio y otro se debe determinar de manera que las zonas humedecidas por dos orificios

vecinos se superpongan un poco, y dependerá del estado de las fallas y de las fisuras, así como de la orientación de la línea del frente en relación con los planos de clivaje. Para evitar que parte del agua inyectada en un orificio se escape por los orificios vecinos puede ser útil taponarlos. La experiencia adquirida en varias cuencas mineras indica que entre un orificio y otro debe haber, por término medio, entre 5 y 6 metros.

Profundidad de los orificios.

La profundidad de los orificios deberá depender de la velocidad de avance del frente de arranque. En efecto, conviene evitar que entre dos infusiones sucesivas transcurra demasiado tiempo, ya que de ser así se atenuará en gran medida el efecto de humidificación. La experiencia ha demostrado que se obtienen buenos resultados con orificios cuya profundidad sobrepasa en 20 o 30 cm la profundidad de extracción, porque de esta manera se puede seguir perforando día tras día los mismos orificios, con lo cual se reduce el número de los abiertos en el frente.

Perforación de los orificios.

Los orificios, cuyo diámetro es generalmente de 5 cm, deben ser perforados con gran cuidado, tratando de no utilizar barrenas torcidas o en mal estado que puedan agrandarlos y dificultar su taponamiento. La utilización de barrenas helicoidales facilita la limpieza de los orificios, de los cuales se deben retirar todos los fragmentos de material antes de inyectar el agua. Conviene hacer la perforación humedeciendo el material, ya que de este modo se elimina el polvo y se facilita también la limpieza del orificio, pero una excesiva humidificación previa del carbón puede hacer más difícil, en ciertos casos, el afianzamiento de los obturadores. Por regla general, se utilizan perforadoras rotativas eléctricas o de aire comprimido.

Tubos de inyección del agua.

Los tubos de inyección consisten sencillamente en dos tubos concéntricos que tienen en uno de sus extremos unos anillos de caucho que se ajustan a las paredes del orificio e impiden que el agua que se inyecta salga de él (véase la figura 77). Se han ideado

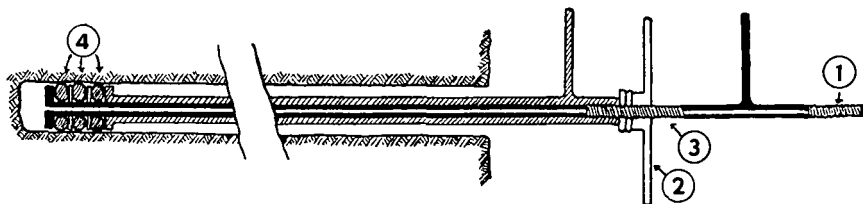


FIG. 77. — Tubo de inyección de agua.

1: Entrada del agua. 2: Manija de ajuste. 3: Tubo de rosca de gas. 4: Anillos de caucho obturadores.

diversos sistemas de obturación, que consisten en discos de caucho o en un manguito también de caucho que por expansión queda adherido a las paredes del orificio cuando se hace girar el tubo exterior sobre el tubo interior. También se utilizan otros sistemas análogos, entre ellos un obturador de rosca que se atornilla a mano y un obturador de leva. Existe también un tipo de obturador hidráulico que tiene la ventaja de irse ajustando cada vez más a medida que aumenta la presión del agua, la cual hace avanzar un pistón en el interior de un cilindro fijado en el tubo exterior, cuyo movimiento hace que el obturador de caucho se expanda y se ajuste contra las paredes del orificio (véase la figura 78).

Posición del obturador.

Donde conviene colocar el obturador del orificio es a la menor profundidad que permita inyectar la cantidad de agua necesaria sin que reviente el frente. Si se elige bien la posición del obturador

se podrá inyectar el agua a presión mucho menor, lo cual es especialmente conveniente en las capas en que el agua tiende a penetrar en el techo o en el piso. En los frentes de avance lento conviene colocar los obturadores a la menor profundidad posible, para

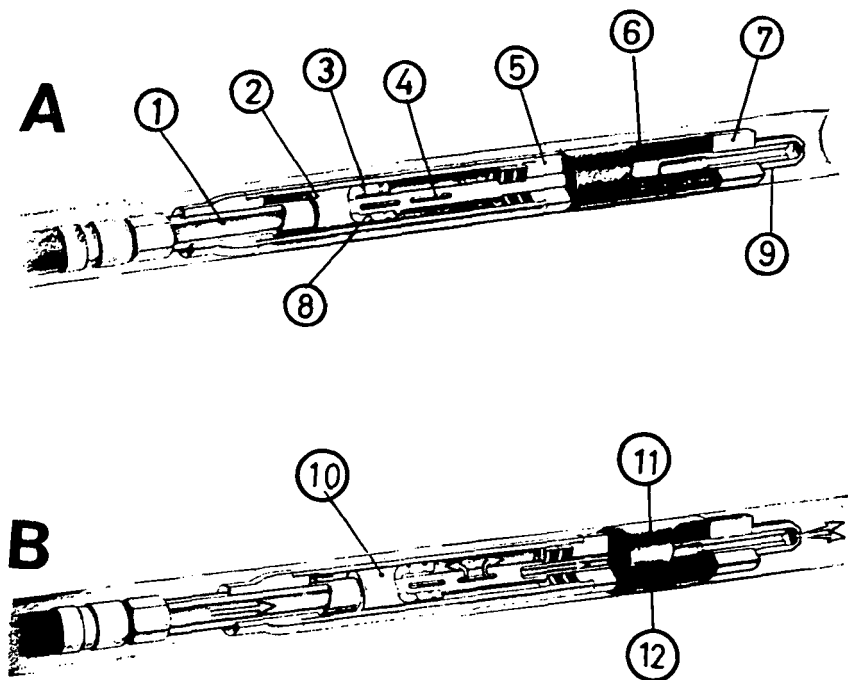


FIG. 78. — Inyector de agua a presión con obturador de caucho.

A: Antes de dar entrada al agua. B: Bajo la acción del agua.

1: Entrada del agua. 2: Pistón. 3: Anillos de cierre automático. 4: Tubo perforado. 5: Casquillo de compresión trasero. 6: Obturador de caucho compresible. 7: Casquillo de compresión delantero. 8: Orificios. 9: Boquilla intercambiable. 10: Tubo perforado y casquillo empujados por la presión del agua que actúa sobre el pistón. 11: Obturador de caucho comprimido por el movimiento del casquillo de compresión delantero hacia el casquillo de compresión trasero. 12: El obturador se ajusta contra las paredes del orificio.

que el agua pueda penetrar en las fisuras de la zona fracturada que se halla inmediatamente detrás del frente de arranque, que es donde se forma la mayor parte del polvo. En los frentes de avance rápido esta zona suele estar humedecida por las infusiones anteriores. En general, el obturador se deberá colocar a unos 50 cm de profundidad.

Suministro de agua.

El suministro de agua es un factor de gran importancia, y es indispensable controlar cuidadosamente la presión y la cantidad de agua inyectada, para lo cual se necesitan un contador de agua y un manómetro. Estos dos aparatos deben estar colocados dentro de una caja de protección, juntos los dos; por otra parte, como es muy importante controlar la cantidad de agua inyectada, sería de gran utilidad un contador que indicase al mismo tiempo el caudal por unidad de tiempo y la cantidad total de agua inyectada. Conviene utilizar un filtro para proteger los instrumentos.

En las condiciones normales, el agua inyectada no debería pasar de 10 l/min. Si se trata de carbón bituminoso o fisurado, puede haber que reducir la inyección a 4 l/min o menos. Si la velocidad de inyección es excesiva puede provocar la ruptura del frente, en cuyo caso el agua se dispersa con facilidad sin haber humedecido suficientemente el polvo que tapiza las grietas más profundas. En caso de inyección simultánea en varios orificios, cada inyector debe tener su propio grifo de cierre o su propia válvula, de manera que se pueda dejar de inyectar agua en uno de los orificios sin tener que interrumpir la inyección en los demás.

La presión necesaria puede ser muy diferente. Según las cifras comunicadas por diferentes países, la presión estática puede llegar a 45 kg/cm². Cuando el agua ya ha empezado a penetrar en el macizo, la presión habitual oscila entre 6 y 12 kg/cm², aunque en algunos casos se ha llegado hasta 15 kg/cm². En la práctica, el agua puede empezar a penetrar en el macizo casi inmediatamente o bien puede encontrar una fuerte resistencia inicial, en cuyo caso puede ser necesario mantener una presión estática elevada durante

bastante tiempo (hasta 15 minutos) para vencer esa resistencia y lograr que el agua se abra paso; después se debe mantener el suministro entre 9 y 13 l/min. Cuando el agua encuentra una salida, la presión baja mucho; el manómetro permite entonces advertir si el agua ha encontrado una salida que no sea a la superficie libre del frente de arranque, y si esto sucede se debe interrumpir inmediatamente la inyección para evitar daños en el techo o en el piso.

Material de ensayo.

Con un equipo portátil con el cual se pueden inyectar hasta 13 l/min a una presión de hasta 70 kg/cm² se pueden obtener datos muy útiles acerca de la posibilidad de inyectar agua en una capa de carbón. Para hacer los ensayos y determinar dónde y cómo conviene perforar los orificios y colocar los obturadores, a qué presión se debe inyectar el agua, etc., no se necesitan más que dos personas con la debida formación, las cuales pueden proporcionar valiosísima información que servirá para establecer el futuro programa de trabajos de infusión. Entre el material necesario para estos ensayos están una pequeña bomba rotativa con un filtro, una válvula de escape regulable, un manómetro, un contador de agua, un tanque para agua y un tubo flexible y de longitud suficiente que resista presiones elevadas.

La infusión de agua en la explotación por cámaras y pilares

En muchas minas donde la explotación se hace por cámaras y pilares se utiliza el procedimiento de la infusión de agua. En una de ellas en que la capa de carbón se halla a 500 metros de profundidad se adoptó el sistema siguiente: se abren en una cámara entre dos pilares vecinos (que en el caso particular a que se hace referencia eran de 60 metros por 50 metros) seis orificios de una longitud aproximada de 40 metros. Estos orificios se perforan uno tras otro, sin pérdida de tiempo, con una de las perforadoras,

abriendo tres en cada pilar, y de esta manera se puede realizar el trabajo sin reducir la velocidad de avance que caracteriza a este método de explotación.

Infusión a alta presión

En vista de los buenos resultados obtenidos con la infusión de agua a presiones relativamente bajas, se empezaron a hacer experimentos inyectando agua en el macizo a presiones mucho más elevadas. Por este procedimiento se obtienen dos ventajas, que son las siguientes:

a) se aglomera el polvo que hay en las capas de carbón antracitoso;

b) se afloja este carbón, lo cual facilita su arranque, que así se puede efectuar con un número de voladuras mucho menor y hasta en algunos casos sin voladuras.

Por este procedimiento se puede inyectar agua en la mayor parte de las capas, incluidas las que contienen intercalaciones estériles, y reducir la producción de polvo fino hasta en 80 por ciento. El agua se inyecta por medio de bombas reforzadoras que pueden dar una presión de hasta 420 kg/cm², generalmente en varios orificios a la vez, de manera que se necesita un sistema de conducción de agua apropiado (véase la figura 79). Los tubos de inyección se introducen hasta el fondo de los orificios, cuya profundidad puede llegar a ser de hasta 40 metros y que luego se cierran con un obturador hidráulico.

La perforación de los orificios de infusión se debe realizar con gran cuidado. Los puntos de perforación se deben determinar muy bien, y los orificios se deben abrir a unos 40 metros uno de otro a lo largo del frente de arranque, paralelamente al techo y al piso y por lo general exactamente encima del plano central del frente de arranque, pero claro está que el punto exacto dependerá de las diversas bandas de carbón o intercalaciones estériles que pueda haber en el macizo. La bomba debería estar lo más cerca posible del frente de arranque, porque así será más fácil controlar la infu-

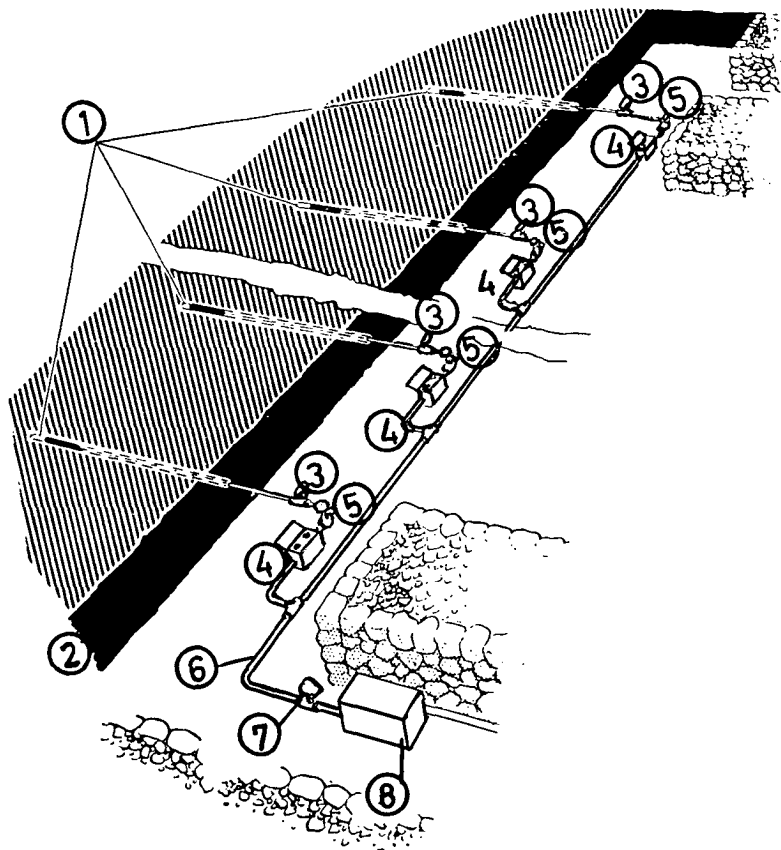
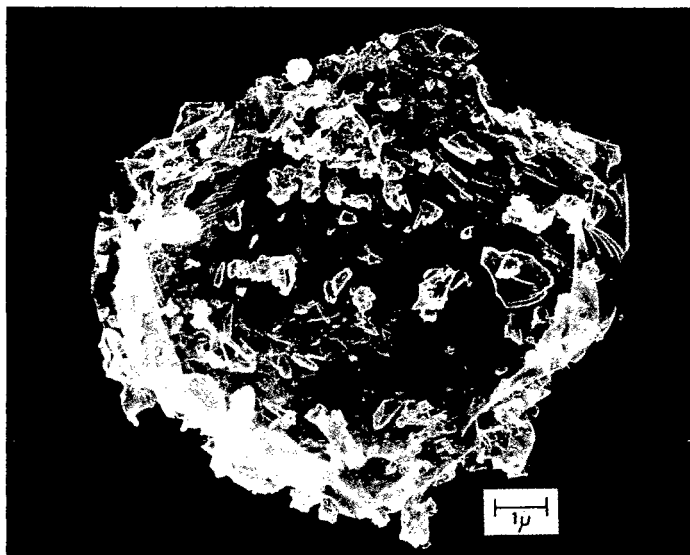


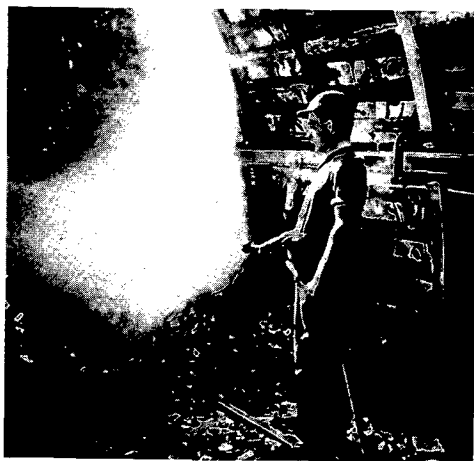
FIG. 79. — Infusión de agua en varios puntos del frente simultáneamente.

1: Orificios perforados a mayor profundidad que la del frente de arranque. 2: Frente de carbón. 3: Válvulas de seguridad contra el exceso de presión. 4: Contadores de agua y manómetros. 5: Válvulas de retención. 6: Tubería de alta presión. 7: Manómetro. 8: Bomba.



(Mine
Ventilation
Society
of South
Africa)

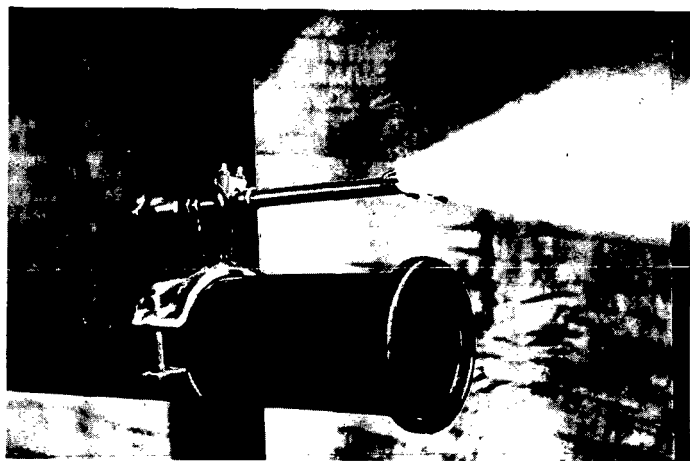
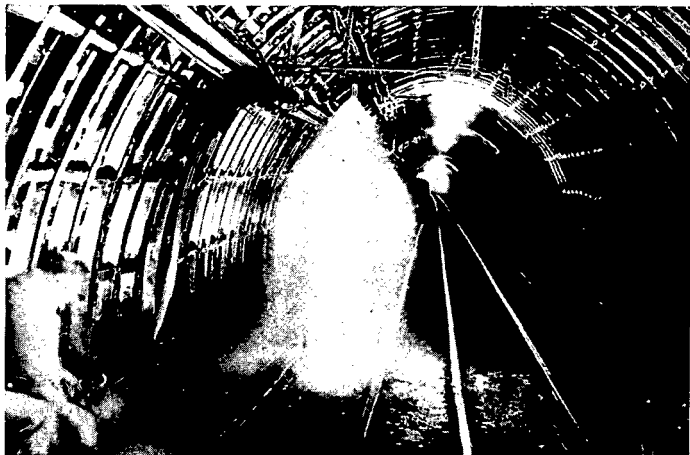
Microfotografía electrónica de las partículas captadas en un punto de vuelco de basculadores.



Utilización de rociadores para la precipitación del polvo.

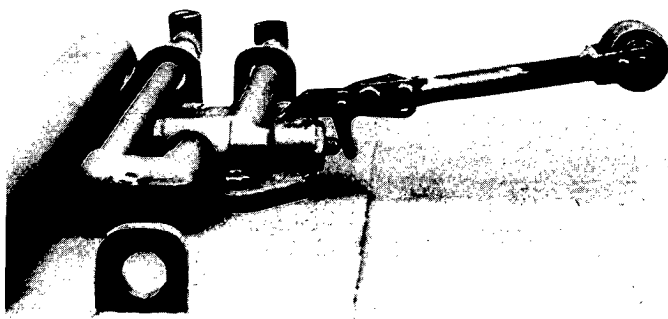
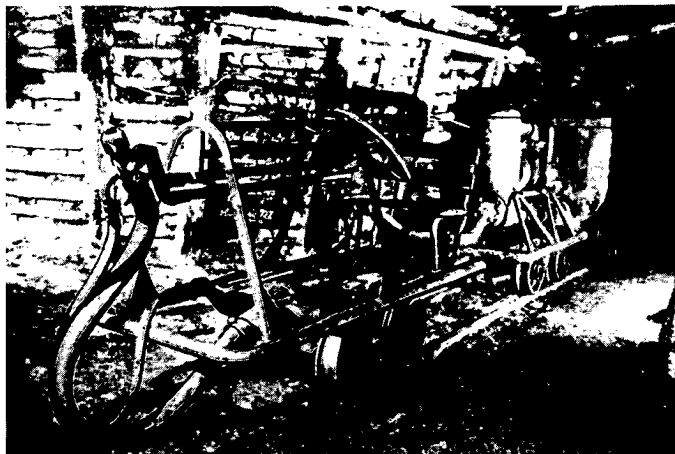
Arriba (A): En una zona de derrumbe, para impedir que el polvo llegue al frente de talla.

Abajo (B): Después de una voladura, para que el polvo se precipite y para humedecer la roca arrancada.



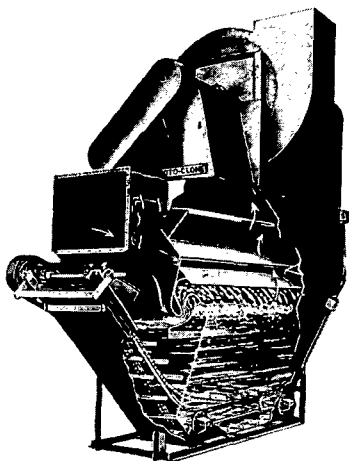
Arriba: Dispositivo de rociamiento de vagonetas.

Abajo: Rociador montado sobre una máquina rellenaora.



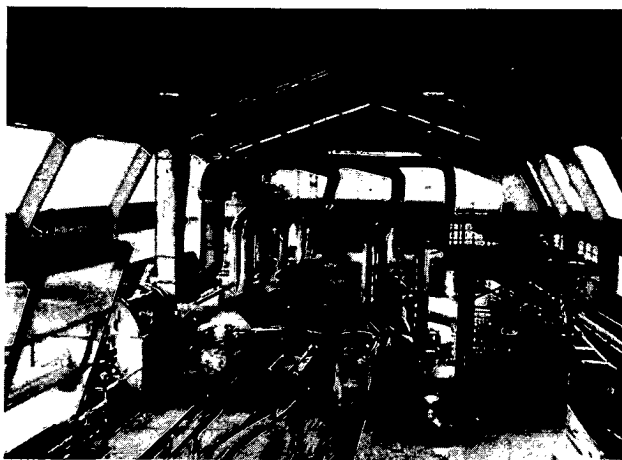
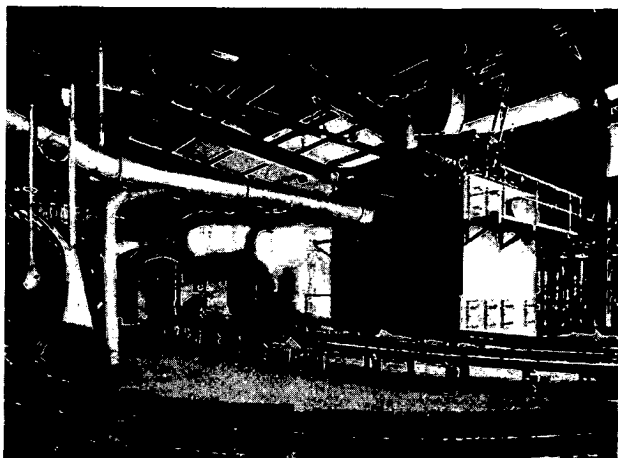
Arriba: Vagoneta con bomba para el rociamiento de las galerías de minas.

Abajo: Regulador automático de la salida de agua de los rociadores para transportadores de correa.

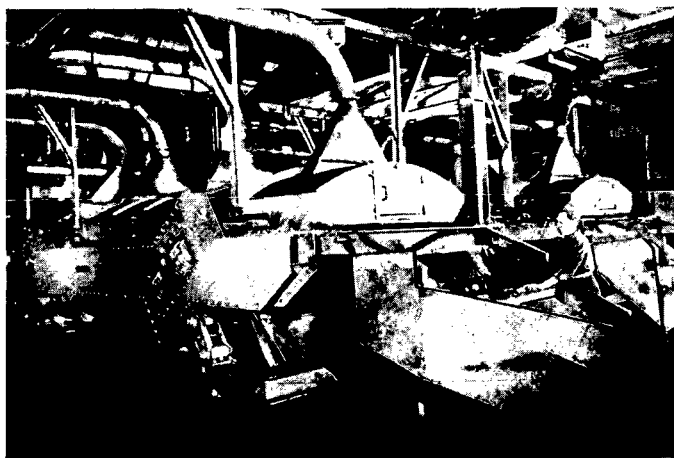
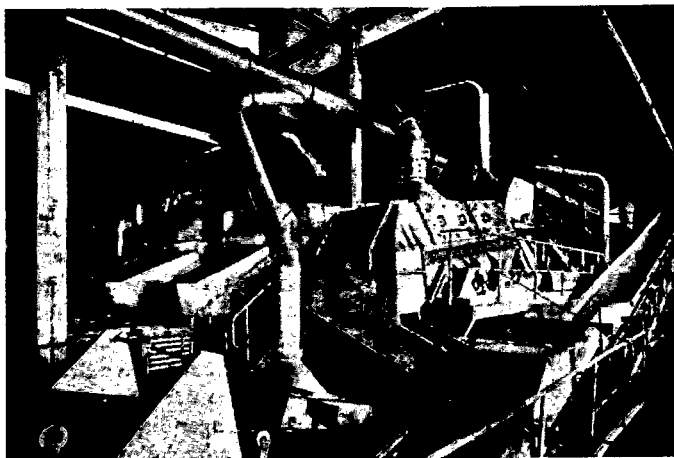


Arriba: Filtro húmedo para polvo.

Abajo: Instalación de filtración en una galería de transporte.



Sistemas de ventilación aspirante en instalaciones de superficie.

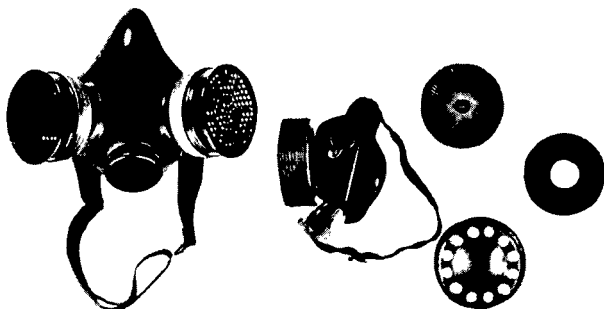
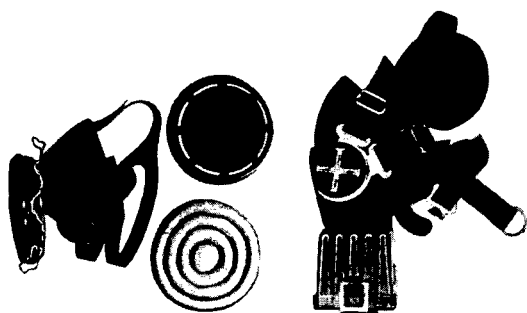
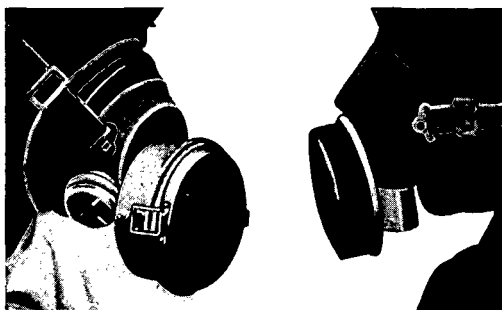


Estructuras de aislamiento y dispositivos de aspiración.

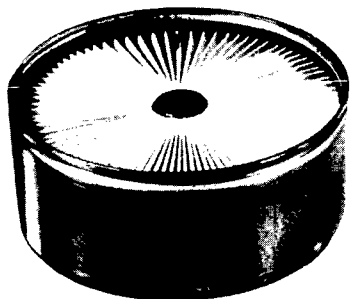
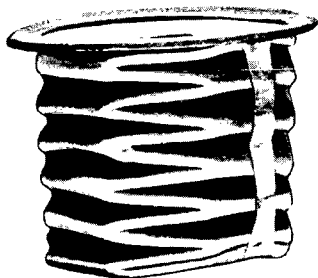
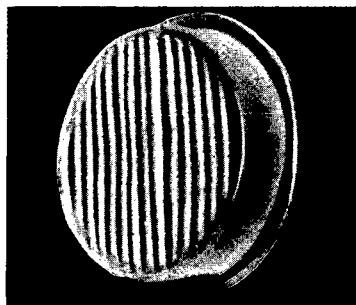
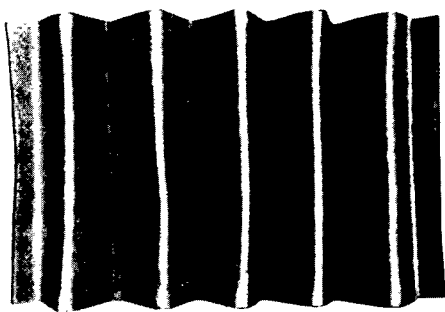
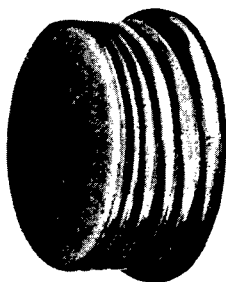
Arriba: En un punto de transbordo.

Abajo: Sobre cribones (adviértase la cortina flexible que cubre la salida del cribón).

VIII

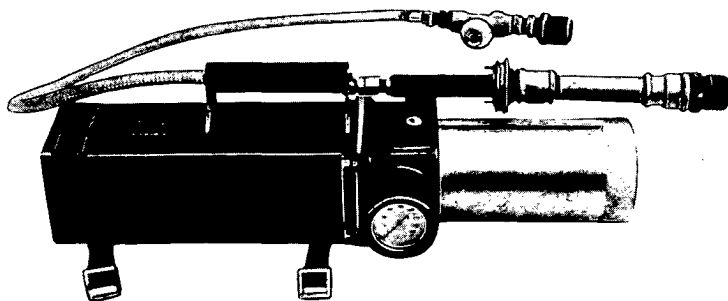
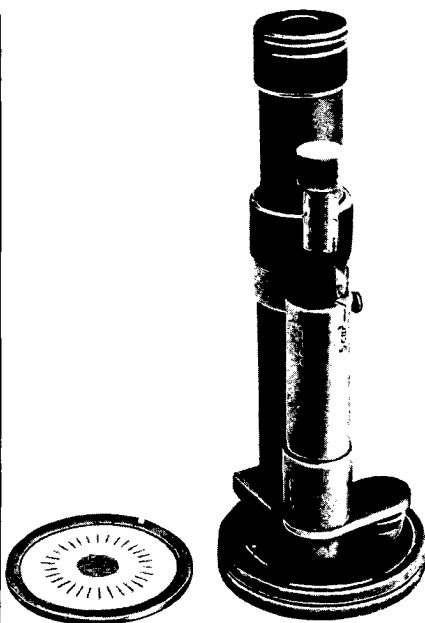
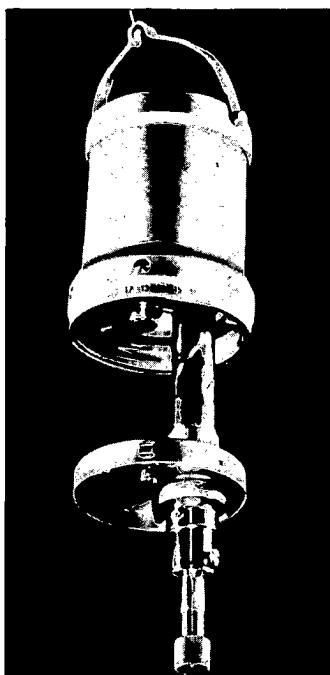


Algunos tipos de máscaras de protección contra el polvo.

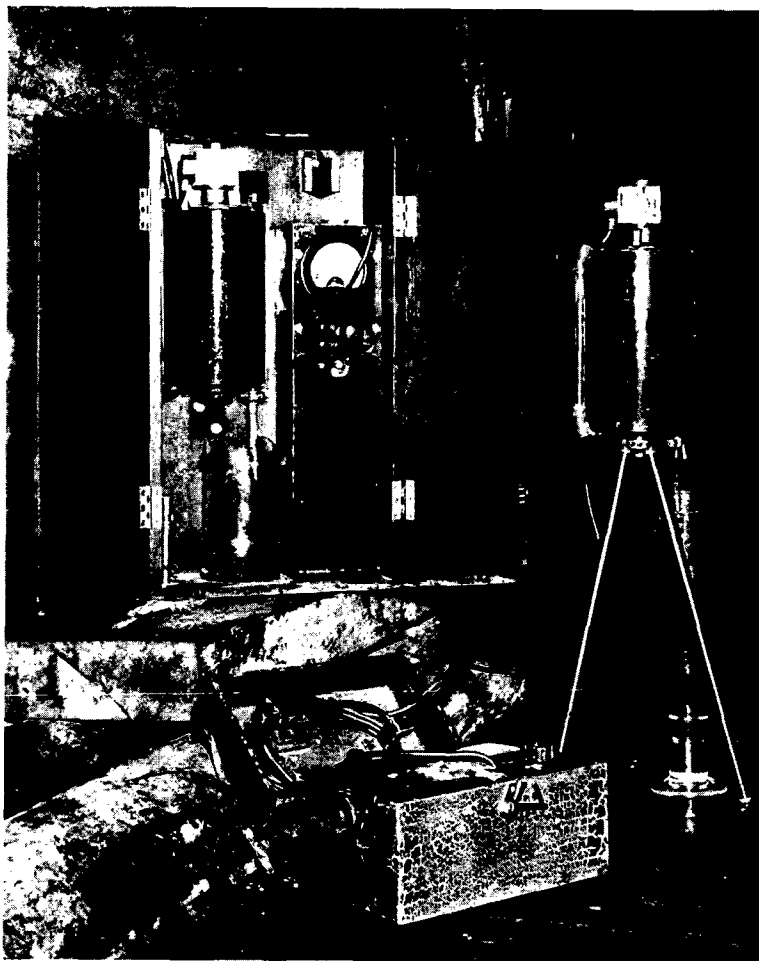


Filtros de máscaras de protección contra el polvo.

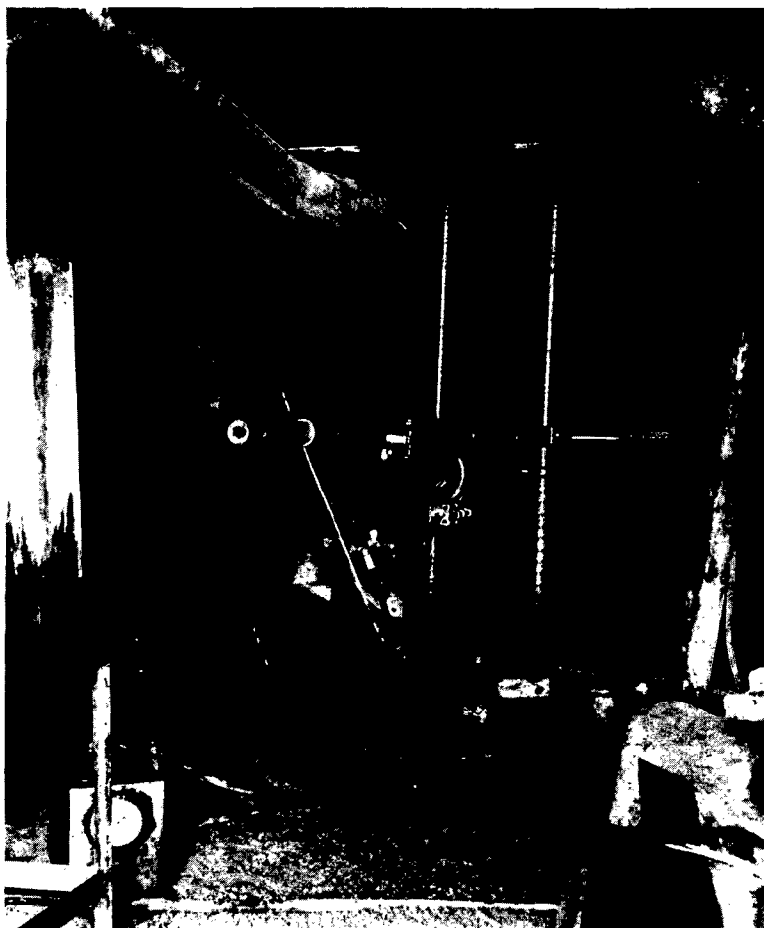
X



Arriba : Bergbau-Konimeter y conímetro Zeiss. Abajo : Filtro Göthe.



Precipitador térmico utilizado en el fondo de una mina.



Montaje de una perforadora en ensayo para la medición de su producción de polvo en la perforación de roca.

sión, y la instalación de alta presión debería estar provista de una válvula de retención, de una válvula de seguridad, de un manómetro y de un contador de agua. Todas las juntas deberían resistir bien las elevadas presiones a que se verán sometidas, y se debe cuidar de que el personal no se encuentre frente a los orificios mientras se está haciendo la infusión. Después de la infusión se deberían tomar muestras del fondo de los orificios, para analizarlas y calcular el grado de humedad a que se ha hecho llegar al material.

Capacitación del personal y control

Si se quiere utilizar con éxito y regularmente el procedimiento de infusión de agua es preciso disponer de personal competente y controlar cuidadosamente las operaciones de infusión. Se deberían formar equipos de dos o tres hombres que posean la formación adecuada, elegidos entre mineros experimentados y capaces de determinar correctamente los puntos de perforación de los orificios de inyección y de darse cuenta de si la infusión se efectúa normalmente. No hay que dar a cada equipo más trabajo que el que puede realizar y controlar convenientemente. Se deberían tomar muestras periódicamente para determinar en qué medida se suprime el polvo y mantener o mejorar la eficacia de las infusiones.

También se deberían formar suplentes, para que la ausencia de un miembro de un equipo no obligue a interrumpir las infusiones, y se deberían tomar toda clase de precauciones para asegurar la continuidad de las operaciones de infusión, ya que pueden necesitarse varios días para restablecer la humedad normal de un frente si las infusiones se interrumpen durante largo tiempo.

Convendría tomar nota del número de orificios de infusión perforados, de su situación en el frente y de cuantos detalles sean de utilidad, ya que todos estos datos, junto con los resultados de las mediciones periódicas del grado de concentración del polvo, permitirán tomar las medidas necesarias para mantener las condiciones deseadas.

PROCEDIMIENTOS QUE PERMITEN PRESCINDIR DE LAS VOLADURAS

Si bien para romper la roca dura no existe todavía ningún procedimiento mejor que el de las voladuras, en los últimos años se han hecho grandes progresos y se han ideado otras técnicas o procedimientos para el arranque del carbón. Estos procedimientos dan mucha más seguridad, en muchos casos tienen algunas ventajas desde el punto de vista de la producción, no producen humos nocivos y reducen la cantidad de polvo.

La mayor parte de estos procedimientos consisten, en principio, en producir, con la ayuda de un gas, determinada presión en un cilindro de acero concebido de manera que permite lanzar bruscamente el gas a presión al interior del barreno. Como el efecto que esto produce es relativamente paulatino en comparación con el de las voladuras, el carbón no sale violentamente despedido del frente de arranque, sino que se va aflojando, con lo cual los trozos de carbón son de mayor tamaño y se reduce la cantidad de polvo. Casi todos estos procedimientos permiten aplicar diferentes presiones, según las condiciones del macizo, y si se los aplica bien se puede reducir en gran medida la producción de polvo.

Estas técnicas tienen una particular utilidad en las minas en que el carbón se arranca sistemáticamente por roza y pega de barrenos. En ciertas condiciones también se las puede utilizar para romper roca. Además de reducir la cantidad de polvo en suspensión en el aire, tienen la gran ventaja de no producir humos nocivos.

Los principales procedimientos utilizados son los siguientes:

- a) el « Cardox »;
- b) el « Airdox » o « Armstrong »;
- c) el « Hydrox »;
- d) el « Chemecol »;
- e) las cuñas hidráulicas.

De estos procedimientos, los únicos corrientemente utilizados son el Cardox y el Hydrox.

Procedimiento « Cardox »

El procedimiento Cardox fué el primero de los ideados para arrancar el carbón sin emplear explosivos. Consiste en licuar bióxido de carbono en un tubo de acero a una presión de 140 kg/cm². Por medio de un calentador especial se lleva el líquido a una temperatura superior a su temperatura crítica (que es de unos 31° C), a la cual se gasifica provocando un brusco aumento de la presión que rompe un disco metálico. Al romperse este disco el gas se escapa violentamente al interior del barreno a través de orificios abiertos en el dispositivo de descarga. La presión mueve asimismo dos linguetes de retención que hay en la parte de atrás del casquillo, de modo que éste queda atascado en el interior del barreno.

Los tubos que sirven de proyectiles se cargan mediante un compresor especial que puede estar instalado en el fondo de la mina o en la superficie, son de un acero especial, los hay de distintos tamaños y tienen tres partes: el casquillo o cuerpo, el dispositivo de disparo y el dispositivo de descarga. Según las dimensiones del casquillo, el espesor de la pared varía entre 6 y 10 mm. Los casquillos pueden contener entre 0,11 y 2,8 kg de CO₂ líquido (véase la figura 80).

El casquillo encaja a rosca, por sus dos extremos, en los dispositivos de disparo y de descarga; el aterrajado especial no deja escapar el gas.

El dispositivo de disparo tiene una válvula que deja pasar el gas carbónico al casquillo y además dos bujes metálicos para conexiones.

El dispositivo de descarga tiene grandes orificios por los cuales se escapa el gas carbónico después del disparo y cuya disposición depende del tipo de dispositivo de disparo que tenga el proyectil. Hay quienes prefieren utilizar un dispositivo de descarga sin linguetes de retención.

El calentador consiste en un tubo de cartón que contiene una mezcla de productos químicos, cerrado con un tapón de madera a través del cual pasa uno de los hilos conductores que

termina en el disparador. El segundo de los conductores está insertado entre el tapón de madera y el tubo y ha de ser eléctricamente conectado con el proyectil por medio de un anillo de cobre que se hace entrar a presión.

La corriente eléctrica que pasa al proyectil hace que la mezcla de productos químicos que contiene el calentador se gasifique y que brusca y momentáneamente se eleve la presión en el proyectil hasta alrededor de 2.200 atmósferas.

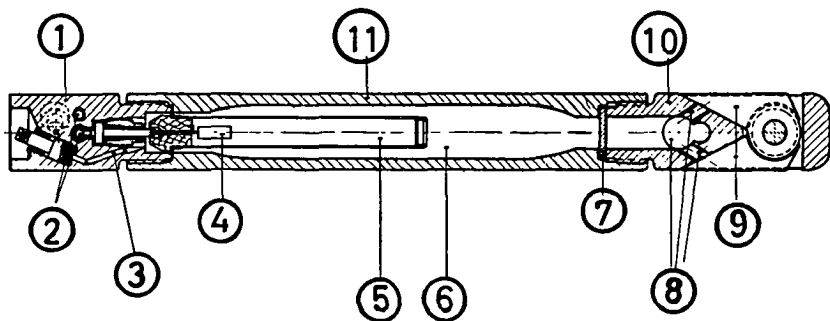


FIG. 80. — Proyectil « Cardox ».

1: Dispositivo de disparo. 2: Conexión con el cable del dispositivo de disparo. 3: Conducto y válvula de relleno (CO₂). 4: Disparador. 5: Calentador. 6: Carga de CO₂. 7: Disco cuya ruptura se provoca. 8: Orificios de escape del gas. 9: Lingüetes de retención. 10: Dispositivo de descarga. 11: Casquillo.

Procedimiento « Airdox »

Ya en 1899 se pensó en la posibilidad de utilizar el aire comprimido para las voladuras y se hicieron los primeros experimentos, los cuales se interrumpieron luego porque eran muy costosos.

Más recientemente, dado el éxito del sistema Cardox, se volvió a examinar la posibilidad de emplear el aire comprimido y se ideó el disyuntor Airdox. Este dispositivo se empezó a utilizar generalmente en los Estados Unidos, debido a las disposiciones legislativas relativas a las voladuras en las minas, y su empleo se extendió posteriormente al Reino Unido y al resto de Europa.

Como funcionan sin reacciones químicas ni chispa o llama que produzca ignición, estos dispositivos ofrecen una gran seguridad cuando existe grisú. El sistema es el siguiente: se comprime el aire a unas 800 atmósferas por medio de un compresor multi-gradual que puede estar instalado en el fondo de la mina o en la superficie y se lo conduce por tuberías especiales hasta el frente de arranque. Si la tubería es muy larga es necesario instalar un depósito que permita almacenar una cantidad de aire comprimido suficiente para hacer el disparo.

Existen distintos tipos de proyectiles, que tienen un obturador movido por un pistón (retenido este último por un pasador que se rompe bajo determinada presión) o bien un disco o una placa que se rompe bajo el efecto de la presión. Con los modelos más recientes es posible hacer diez disparos en diez minutos (véase la figura 81).

Se introduce el proyectil en el barreno y se abre la válvula de entrada del aire desde lejos, para que no exista ningún peligro. Cuando la presión llega a unas 770 atmósferas se rompen el disco o la placa, el aire sale por los orificios de descarga que hay en el extremo posterior del proyectil y al expandirse rompe el carbón. Como puede advertirse, el proyectil se carga cuando ya está dentro del barreno.

Procedimiento « Hydrox »

En el procedimiento Hydrox, el proyectil y su mecanismo son fundamentalmente los mismos que en el procedimiento Cardox, pero en lugar de gas carbónico se emplea una carga constituida por una mezcla de nitrato de sodio y de cloruro de amonio, la cual, cuando se calienta, produce ázoe, vapor de agua y sal común. Este procedimiento tiene la ventaja de que no exige ninguna instalación costosa para la carga de los proyectiles. Hay una variante de este procedimiento en la que se utiliza un dispositivo de disparo semipermanente colocado en el interior del casquillo del proyectil, con el que se evitan ciertos inconvenientes del dispositivo de disparo original, cuya utilización en las minas grisuosas no ofrece seguridad.

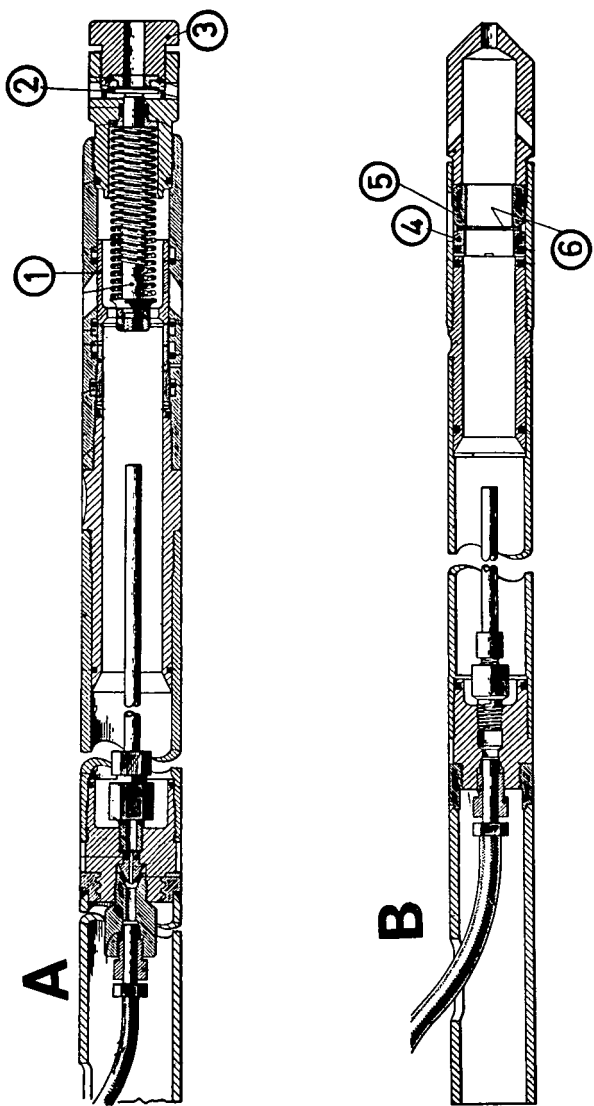


FIG. 81. — Proyectil « Airdox ».

A: Casquillo con obturador movido a pistón. B: Casquillo con disco de ruptura.
 1: Válvula. 2: Tuerca de seguridad. 3: Pasador de cizalla. 4: Junta hermética. 5: Anillo de fijación del disco de ruptura.
 6: Disco de ruptura.

Procedimiento « Chemecol »

El procedimiento Chemecol se parece al Hydrox en que en él también se utiliza una mezcla de productos químicos que se calienta eléctricamente para iniciar la reacción que produce el gas y rompe un disco. La presión a que se produce la ruptura del disco es de entre 1.250 y 1.550 kg/cm², según sea el espesor del disco. No siempre está autorizado el empleo de este procedimiento en las minas grisúosas.

Cuñas hidráulicas

Los ensayos efectuados hace ya algunos años para arrancar el carbón por acción directa del agua introducida en los barrenos bajo presión han llevado a fabricar dos tipos de dispositivos.

La cuña hidráulica Gullick consiste en un proyectil cilíndrico de acero provisto de pistones telescópicos, los cuales son empujados por el agua hasta que forman un ángulo recto con el eje del proyectil. Una pequeña bomba movida a mano o a motor suministra el agua a presión, y se pueden conectar varias cuñas con una misma bomba.

El segundo dispositivo consiste en un tubo de metal metido en una funda extensible de caucho o de otro material análogo. La presión, lograda por medio del agua o de un gas, puede llegar a ser de 100 atmósferas, lo cual, en muchos casos, basta para romper el carbón.

La ruptura mecánica del macizo es un procedimiento de arranque relativamente lento, y no se ha generalizado porque sólo se lo puede aplicar en ciertos tipos de capas o en las labores de recorte cuando los planos de clivaje están bien formados. Es especialmente adecuado para el recorte, ya que con este procedimiento la ruptura es lenta y se produce menos polvo que con las voladuras en que se utilizan explosivos.

*Arranque del carbón por voladuras e infusión
de agua combinadas*

Como se ha visto anteriormente, la infusión de agua en el macizo tiende a producir la ruptura del frente de arranque. Por lo tanto, si se produce bruscamente una presión elevada en un orificio que ya anteriormente se ha llenado de agua a la que se ha hecho penetrar en todas las grietas y fisuras del macizo, este aumento súbito de la presión extiende y amplía esas grietas y fisuras, con lo cual se quebranta la masa de carbón y se facilita su arranque. La presión necesaria se puede obtener haciendo saltar una pequeña carga de explosivos en el orificio en que ya se ha hecho la infusión. Entre los primeros experimentos en que se aplicó este principio pueden citarse los realizados por Demellenne en Bélgica, en los que se utilizó una pequeña carga de explosivos para obtener la presión necesaria para la infusión propiamente dicha.

Este procedimiento tiene varias ventajas, ya que además de que la infusión de agua normalmente reduce la cantidad de polvo en suspensión en el aire, las fallas o líneas de clivaje en que podría haber grisú están llenas de agua, lo cual reduce muchísimo el riesgo de explosión. Gracias a la presencia del agua y al hecho de que la carga de explosivos necesaria es muy pequeña, se produce una cantidad de polvo mucho menor que con las voladuras ordinarias. En el capítulo VIII se ha descrito detalladamente este procedimiento.

CAPÍTULO X

TRANSPORTE DE LOS PRODUCTOS

En el transporte de los productos en una mina se pueden distinguir dos fases: la carga, que se efectúa en el frente o en sus proximidades, y el transporte propiamente dicho, esto es, la conducción de los productos desde el punto de carga hasta la superficie. Con la excepción de las operaciones mecánicas de arranque y carga simultáneos efectuadas en el frente, en este capítulo se examinarán todas las operaciones de carga y de transporte que se realizan con los productos entre el primer punto de carga y la superficie. Entre estas operaciones están las de traslado de los productos de un piso a otro de la mina o de un medio de transporte a otro y las de extracción de los productos a la superficie en vagonetas o en skips.

La carga se puede hacer a mano o por medios mecánicos, y aunque en la actualidad se tiende a abandonar la carga a mano por la carga mecánica, en las fases iniciales del transporte una gran parte de los productos arrancados en el fondo se sigue trasladando a mano. Al irse mecanizando las operaciones en las minas de carbón, se fué tratando en todos los casos posibles de idear procedimientos parecidos a los que en ellas se empleaban y que pudieran ser utilizados en las minas metalíferas.

Los productos pueden ser transportados desde el frente de arranque directamente en vagonetas hasta los pozos de extracción, o bien en transportadores, o se los puede dejar caer por cargaderos o chimeneas al lugar donde se cargan las vagonetas. Cuando los yacimientos son muy inclinados conviene aprovechar la fuerza de gravedad, siempre que es posible hacerlo, construyendo verederos o chimeneas intermedias por los cuales puedan pasar los

productos a los niveles principales de transporte. El transporte del material se suele efectuar en la sección de la mina donde la corriente de ventilación es descendente, esto es, en la sección de entrada del aire del circuito de ventilación, de manera que el material y el aire se mueven en direcciones opuestas y todo el polvo que se produce durante el transporte tenderá a ser arrastrado hacia los lugares de trabajo. Desde el punto de vista de la lucha contra el polvo convendría que las principales operaciones de transporte y de subida del material a la superficie se efectuaran en la sección de corriente de aire ascendente o de retorno del aire del circuito de ventilación, pero esto, desdichadamente, no siempre es posible.

Se puede subir el material a la superficie por pozos verticales en jaulas que elevan las vagonetas cargadas o por medio de skips, los cuales también se utilizan en los pozos inclinados. Cuando se utilizan skips es preciso tomar precauciones especiales contra el polvo. Si se lleva el material a la superficie por bocaminas o por pozos inclinados se pueden utilizar vagonetas (que se llevan directamente a la superficie) y en algunos casos transportadores de correa. Cuando se pueden seguir estos procedimientos, el polvo no suele constituir un verdadero problema.

LA CARGA A MANO

La carga a mano es indudablemente una de las operaciones más penosas que se efectúan en el fondo de las minas, y dada la postura que el trabajador se ve obligado a adoptar y la respiración más rápida y más profunda que le impone el esfuerzo que está realizando, el polvo representa para él un peligro relativamente grande. Casi nunca es posible usar máscaras de protección mientras se está haciendo este tipo de trabajo, por los inconvenientes que presentan estos aparatos, de manera que, además de abandonar el sistema de carga a mano siempre que se lo pueda hacer, habría que tratar de que el trabajo se efectúe en las mejores condiciones posibles, aplicando medidas eficaces de lucha contra

el polvo y asegurando una buena ventilación para dispersar y eliminar el que de todas maneras se pueda producir.

Riego

La mejor manera de combatir el polvo que se produce durante las operaciones de carga que se efectúan a mano consiste en regar copiosa y sistemáticamente los productos antes de iniciar la carga y volverlos a regar varias veces mientras se los está cargando, para que no queden al descubierto productos secos (véase la lámina II). El riego se debería hacer por medio de una manguera provista de una boquilla o de un rociador apropiados, lo cual permite controlar mejor la cantidad de agua que se deja pasar y evita que se levante polvo, como suele ocurrir cuando se dirige un fuerte chorro de agua sobre una capa de polvo seco. Si la cantidad de productos secos que se debe cargar en un punto de carga fijo es muy grande, puede ser conveniente instalar en ese lugar rociadores fijos que aseguren un riego uniforme desde el principio hasta el final de la operación de carga.

Para humedecer completamente un montón de carbón se puede utilizar una lanza perforada o un tubo perforado, que se introducen en el montón de carbón e inyectan el agua a presión.

Infusión en el macizo

En el caso del carbón, la formación de polvo durante las operaciones de carga se puede reducir considerablemente por infusión de agua en el macizo, como se ha explicado en el capítulo IX. Cuando se sigue este procedimiento no hay que tomar tantas otras medidas de lucha contra el polvo, ni en el frente de arranque ni durante las operaciones siguientes al arranque.

CARGADORAS MECÁNICAS UTILIZADAS EN EL FRENTE

En el capítulo IX se han descrito algunas máquinas de carga que se utilizan durante las operaciones de arranque. Las otras

cargadoras mecánicas de que aquí se hablará se utilizan cuando se trabaja en roca dura y hay que emplear explosivos para romperla. Estas máquinas se utilizan principalmente cuando se están perforando túneles o galerías, y a veces cuando se excavan pozos.

Sea cual fuere el tipo de cargadoras mecánicas que se utiliza, es muy importante la formación de los trabajadores que las manejan, los cuales deben cuidar constantemente de que no se carguen productos secos y de que las máquinas no levanten grandes nubes de polvo mientras están funcionando (véase la figura 82).

Cucharas de arrastre

Las cucharas de arrastre se utilizan con frecuencia en las minas de metal para llevar los productos desde el frente de arranque hasta el punto de carga o hasta el vertedero. En distancias cortas, de unos 15 o 20 metros, el arrastre no crea grandes problemas de formación de polvo, siempre y cuando se utilice una cantidad de agua suficiente y la ventilación sea buena. Por el contrario, en distancias largas, o cuando las cucharas de arrastre están montadas en serie, la supresión del polvo es más difícil, aun cuando se utilice el agua, y se deberían tomar las medidas que a continuación se indican.

1. Los productos que se están manejando deberían estar humedecidos.

2. El riego debería ser suficiente para que tanto los productos como el camino que recorren las cucharas de arrastre sigan estando húmedos desde que empieza el arrastre hasta que termina.

3. El aire cargado de polvo procedente de las vías de arrastre debería ser diluido en aire puro, descargado en una vía de retorno de aire o filtrado.

4. La velocidad del aire a lo largo de las vías de arrastre debería ser de alrededor de 0,5 m/s.

5. Las cucharas de arrastre deberían seguir aproximadamente la inclinación real de las capas, las vías de arrastre deberían ser

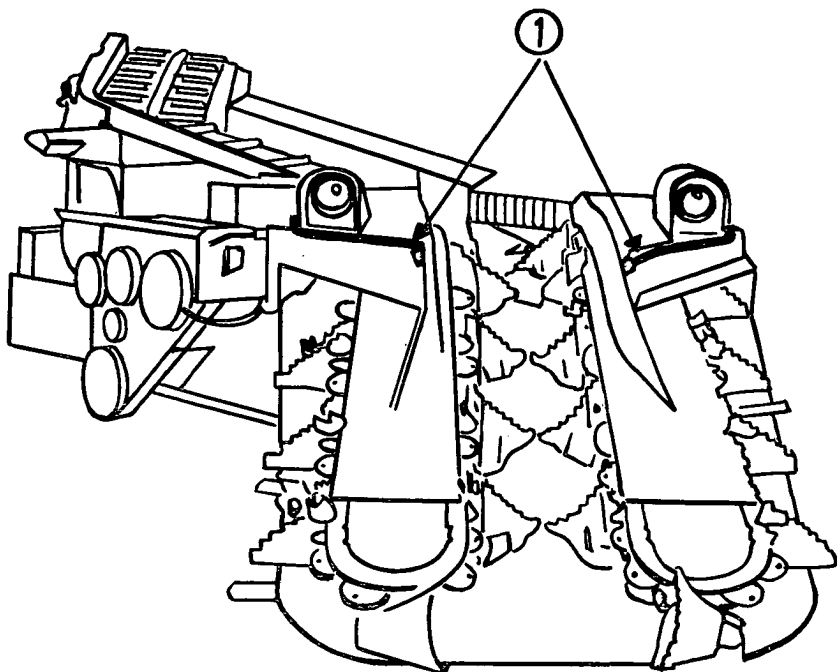


FIG. 82. — Cargadora mecánica con nebulizadores.

1: Rociadores.

bastante anchas y no debería haber en el camino de las cucharas ni grandes irregularidades ni estrechamientos.

Transportadores a sacudidas

Los transportadores a sacudidas, que se utilizan mucho en las minas de metal, están formados por una serie de elementos de chapa de hierro curvada, colgados de cadenas. El movimiento de vaivén que un motor comunica a estos elementos hace avanzar

los productos cargados en la dirección deseada. El transporte de los productos por este sistema puede hacer que se levante una gran cantidad de polvo. Los productos deben, pues, ser regados y se debe controlar cuidadosamente la producción de polvo durante su transporte. En los últimos años, los transportadores a sacudidas han sido substituídos en gran medida por las cucharas de arrastre.

CARGADORAS MECÁNICAS UTILIZADAS EN LA PERFORACIÓN DE TÚNELES Y GALERÍAS Y EN LA EXCAVACIÓN DE POZOS

Las cargadoras que se utilizan cuando se perforan túneles y galerías en roca suelen ser máquinas excavadoras de cuchara, que recogen el material y lo lanzan hacia atrás a las vagonetas, o en algunos casos a un corto transportador de correa que lo lleva a las vagonetas. También se utilizan las cargadoras de rastras, que suben el material por una rampa y lo vuelcan en las vagonetas. En una de las variantes de este sistema se utiliza una excavadora de cuchara en combinación con un cucharón de arrastre montado sobre un tren de vagonetas, que distribuye los productos a todo lo largo del tren.

La carga mecánica efectuada con las máquinas anteriormente descritas crea problemas de producción de polvo muy diferentes de los que crea la carga a mano. Ciertamente es menor el número de trabajadores expuestos al polvo, pero las concentraciones son mayores y se necesitan mejor ventilación, más riego y una gran vigilancia.

Además, como la cantidad de polvo que se produce cuando se utilizan cargadoras mecánicas no siempre es la misma, es preciso controlar muy bien el funcionamiento de estas máquinas, sobre todo al principio. Hay que idear métodos apropiados para la supresión del polvo y sistemas de ventilación que permitan resolver los nuevos problemas, tal como éstos se presentan en cada caso particular.

Cuando se excavan pozos, las máquinas que se utilizan para sacar los escombros son, entre otras, las excavadoras de almeja y las excavadoras de cuchara. Dadas las condiciones en que se efectúa

el trabajo (poco espacio y gran rapidez de las operaciones), las medidas de supresión del polvo tienen que ser muy sencillas. Se necesitan una fuerte corriente de ventilación y un adecuado riego del material. En muchos de los pozos que se excavan cae naturalmente agua en abundancia sobre los escombros y, por consiguiente, para resolver el problema del polvo basta con establecer una ventilación suficiente, de manera que el fondo del pozo esté en todo momento barrido por una fuerte corriente de aire.

CHIMENEAS Y PASOS PARA MINERAL

Minas de metal

El transporte del mineral desde el frente de trabajo suele hacerse por chimeneas, pasos y planos inclinados, especialmente en las minas de metal. En muchos casos, cuando se sigue este sistema se levantan grandes cantidades de polvo, que pueden ser aún más peligrosas si la corriente de ventilación pasa por las chimeneas o los pasos recogiendo gran cantidad de polvo y arrastrándolo hacia un frente de trabajo. Por regla general se puede evitar esto trazando adecuadamente el circuito de ventilación e instalando diques de aislamiento o esclusas de aire para desviar la corriente de ventilación del trayecto que sigue el material. Además, se puede reducir la cantidad de polvo que se produce si se humedece el material que se transporta y si en la parte superior de las chimeneas o los pasos se instalan rociadores adecuados o se tienden cortinas de agua. En estos casos, los rociadores deberían lanzar una cortina de agua bien delimitada, de un lado a otro de la boca de la chimenea o del paso, para retener la mayor cantidad posible de polvo y al mismo tiempo humedecer los productos mientras van cayendo. Se deberían instalar llaves de paso adecuadas, para cortar el agua cuando no se está volcando material. Si por cualquier motivo no conviene utilizar agua o si no se puede resolver de otra manera el problema del aire cargado de polvo que viene del paso, habrá que establecer un sistema de ventilación aspirante y eliminar o filtrar el polvo por algún procedimiento. La inclinación de las

chimeneas debería ser la menor posible, y no debería haber en ellas ni declives muy acentuados ni desniveles. Las tolvas de carga que hay debajo de ellas deben descargar el material lo más cerca posible de las vagonetas, para que el material no caiga desde una altura innecesariamente grande.

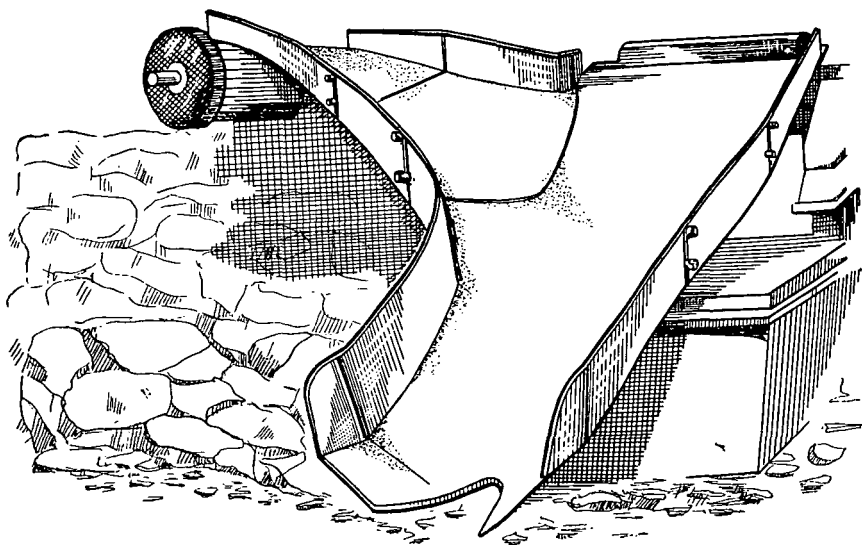


FIG. 83. — Canaleta contorneada para el paso de los productos de un nivel a otro, en un punto de confluencia.

Minas de carbón

Cada vez se generaliza más el sistema de transporte del carbón por gravedad de un piso a otro de la mina, utilizando para ello chimeneas o pasos (véase la figura 83). En estas minas de carbón, las chimeneas suelen ser en espiral, y, como todas las demás chimeneas, deberían tener el menor declive posible. Las precauciones más importantes que hay que tomar son aislar la chimenea todo

lo posible e instalar tabiques flexibles para evitar las corrientes de aire. Se debería mantener humedecido el material que se maneja, y cuando se produce demasiado polvo convendría utilizar rociadores que pulvericen muy finamente el agua.

La eliminación del polvo en suspensión en las chimeneas, los pasos y los vertederos se podrá lograr, cuando sea necesario, estableciendo un sistema de ventilación secundaria que permitirá reducir la presión en el lugar en que se forma el polvo, el cual será captado por medio de una instalación de filtración o por cualquier otro procedimiento.

TRANSPORTADORES DE CORREA

La mayor parte de la producción de las minas de carbón se transporta por medio de transportadores de correa. Estos transportadores se pueden utilizar en condiciones muy diversas y pueden llevar los productos por terrenos en ligera pendiente y a largas distancias. Se los utiliza para transportar el carbón a lo largo del frente hasta la galería principal, en el caso de los instalados en las galerías principales para llevar el carbón hasta un punto de carga, y en el de los transportadores colectores para llevar el producto aún más lejos, a veces hasta los pozos de extracción y, en las explotaciones por socavones o por galerías inclinadas, hasta las instalaciones de tratamiento en la superficie.

Los transportadores de correa se utilizan también en las minas metalíferas, especialmente en las proximidades de los pozos de extracción, en los puntos de transbordo del mineral.

Desprendimiento de polvo

En las instalaciones principales de transporte del fondo de las minas se forma polvo en los puntos de carga y de transbordo, cuando los productos caen sobre el transportador, pasan de un transportador a otro o se vuelcan en las vagonetas. También se puede levantar polvo a consecuencia de la vibración de la correa del transportador cuando ésta pasa sobre los rodillos o sobre los

tambores, si los productos caen del transportador y al atravesar puertas de ventilación o trampillas. Igualmente puede levantar polvo la corriente de ventilación, cuya dirección, en muchos casos, es contraria a la del transporte, caso en el cual es sumamente probable que los productos se sequen rápidamente y se suelte el polvo a ellos adherido.

Las medidas que se tomen en el frente de arranque para combatir el polvo simplificarán mucho el problema de su supresión durante el transporte, pero no por ello dejará de ser preciso tomar ciertas medidas especiales.

Medidas para combatir el polvo

Las medidas más importantes para combatir el polvo que se produce durante el transporte del mineral en transportadores de correa son las siguientes:

- a) estudio cuidadoso de la instalación del transportador y buen montaje y buena conservación del mismo;
- b) limpieza de la correa del transportador, para sacar el polvo a ella adherido;
- c) supresión del polvo en los puntos de carga y de transbordo;
- d) limpieza periódica del camino que recorren los transportadores, para sacar el polvo y los productos que hayan caído en él.

Estudio de la instalación del transportador y montaje del mismo.

Cuando se piensa instalar un transportador de correa se deben tener en cuenta diferentes factores que influyen en la producción de polvo. En primer lugar, la correa debe tener las dimensiones adecuadas para el transporte de la cantidad máxima de mineral que haya de transportarse, de manera que nunca haya sobrecarga y que no sea necesario que la correa avance a velocidades excesivas. En segundo lugar, la galería debe tener una sección suficiente, debiendo tenerse en cuenta el tiempo durante el cual es probable

que se siga utilizando el transportador y la probable reducción de esa sección debido a la presión que ejerce el terreno. Por otro lado, si el aire pasa sobre la correa cargada o sobre los puntos de carga y de transbordo a excesiva velocidad, levantará polvo que quedará en suspensión. En la galería no debería haber secciones en que la anchura se reduzca bruscamente ni ninguna clase de obstáculos. La velocidad relativa de la corriente de aire dependerá de la velocidad a que avance la correa, y cuando no se puedan evitar las grandes velocidades se deberían instalar dispositivos especiales de carga o cortos transportadores auxiliares de movimiento lento que amortigüen la violencia de la descarga y faciliten la carga. La velocidad del aire en los puntos de carga y de transbordo debería ser pequeña, lo cual se logrará agrandando la sección de la galería o desviando la corriente de aire. Por último, se podrían instalar pantallas o tabiques de desviación, para evitar el choque de la corriente de aire con los productos que se están volcando.

Al montar los transportadores se debe cuidar de la buena alineación de la correa y de que quede bien nivelada, para evitar en lo posible que los productos caigan del transportador y se desprenda polvo. Es importante que la correa avance suavemente a todo lo largo del recorrido. En los puntos de carga y de transbordo, la altura de caída del mineral debería ser la menor posible, y cuando no se pueda evitar que caiga de cierta altura se deberían instalar dispositivos especiales de carga, como se ha dicho anteriormente. Las grapas de unión de los elementos de la correa deben ser de muy buena calidad, y si se advierte que están torcidas o estropeadas se las debe cambiar inmediatamente. De ser posible, convendría utilizar juntas vulcanizadas.

Eliminación del polvo adherido a las correas.

Es sumamente importante limpiar la correa del transportador en cuanto se han descargado los productos, para quitar el polvo a ella adherido y recogerlo. Si la correa no está limpia, al pasar sobre los rodillos de retorno puede dejar caer gran cantidad de polvo (se han recogido bajo un solo rodillo hasta 15 kg de polvo de

carbón durante un solo turno de trabajo). Este polvo puede ser arrastrado a lo largo de la galería por la corriente de ventilación, con lo que aumentará considerablemente la cantidad de polvo en suspensión en el aire, sobre todo en el caso de máquinas con correa inferior transportadora. El empleo del agua para combatir el polvo en el frente de arranque puede dar por resultado el aumento de la cantidad de polvo que de esta manera se desprende, ya que a causa de la humedad de los productos es mayor la cantidad de polvo que se adhiere a la correa y por lo tanto la que llega a los rodillos de retorno.

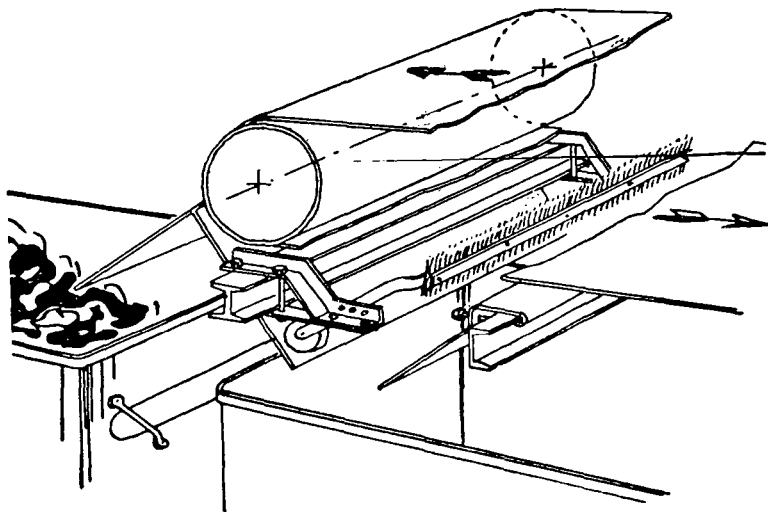


FIG. 84. — Cepillo metálico para correa de transportador.

Durante los turnos de trabajo en que funcionan los transportadores debería haber trabajadores expresamente encargados de limpiar la correa y eliminar el polvo que haya en ella. Por otra parte, hay varios dispositivos que permiten captar gran parte de este polvo inmediatamente después del punto de carga, antes de que se

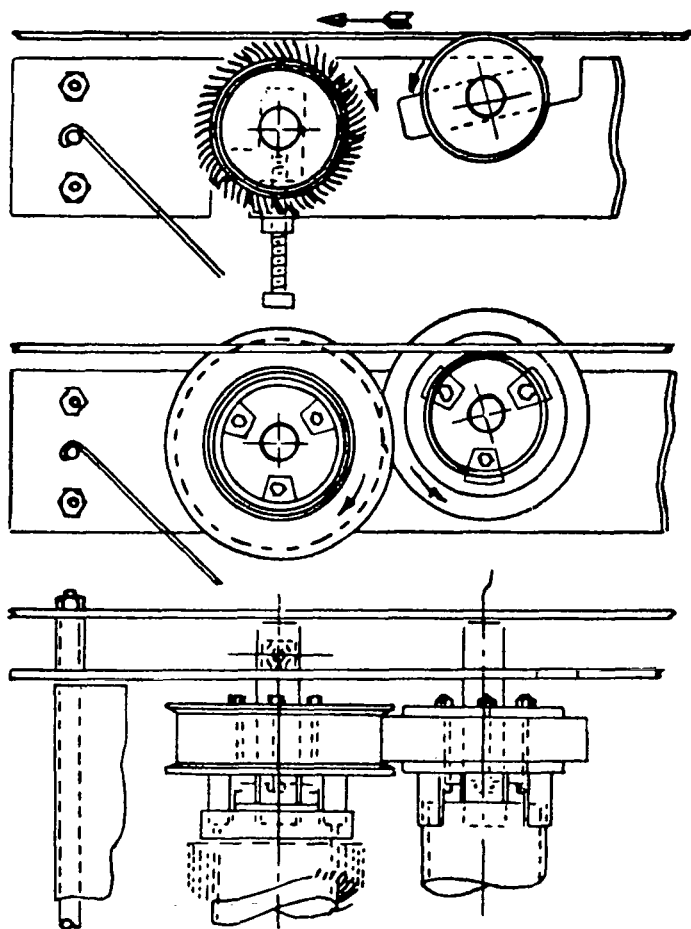


Fig. 85. — Cepillo giratorio para correa de transportador.

pueda depositar. Estos dispositivos (raederas, cepillos metálicos y frotadores) se deberían instalar en los transportadores siempre que se pueda.

El dispositivo más sencillo consiste en una raedera fija cortada en una lámina de caucho, que frota contra la superficie inferior de la correa de retorno. Este dispositivo se puede perfeccionar montando la raedera sobre un pivote y poniéndole resortes o un contrapeso que la mantienen aplicada contra la correa.

Cuando se trata de polvo seco, los cepillos metálicos, que pueden eliminar hasta el 90 por ciento del polvo depositado sobre la correa, dan mejores resultados que las raederas. Si el polvo está húmedo, la instalación de una raedera seguida de un cepillo metálico es un sistema eficazísimo (véase la figura 84). Los cepillos metálicos giratorios movidos por un mecanismo de transmisión por fricción formado por dos discos de cuero también dan buenos resultados (véase la figura 85).

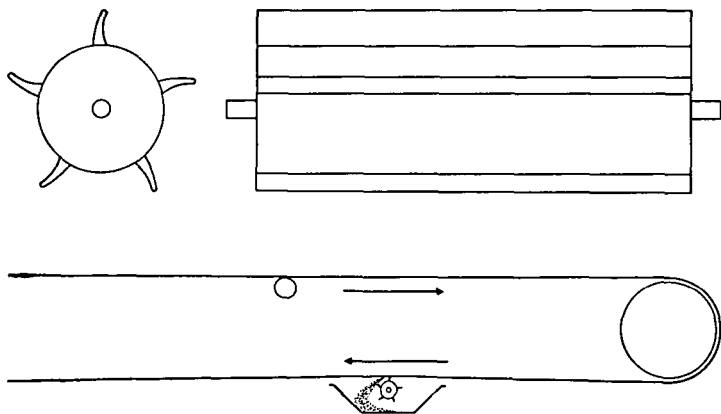


FIG. 86. — Dispositivo con paletas para limpiar por sacudidas las correas de los transportadores.

Otro dispositivo que también ha dado buenos resultados es un rodillo sobre el cual están soldadas cinco hojas o palas metálicas de 4 cm de altura, aproximadamente. Al pasar sobre el rodillo, la correa adquiere un movimiento vibratorio que hace que se desprenda el polvo (véase la figura 86).

Sea cual fuere el dispositivo que se utilice, se debe instalar una tolva para recoger el polvo, la cual debe tener puertas corredizas, y el polvo se debe recoger en bolsas herméticas.

Supresión del polvo en los puntos de carga y de transbordo.

Además de estudiar detenidamente cómo se va a hacer la instalación de carga y de transbordo y en qué lugares se han de realizar estas operaciones, de evitar la caída de los productos desde una altura demasiado grande y los bruscos cambios de dirección o de velocidad en el transporte del mineral, y aun cuando en el frente de arranque se tomen muy serias medidas para combatir el polvo, en muchos casos será preciso tomar disposiciones especiales para la supresión del polvo en los puntos de carga y de transbordo. Entre los medios que para esto se utilizan están las instalaciones de captación o extracción del polvo, los dispositivos especiales de carga y los rociadores de agua.

Cuando el punto de origen del polvo está encerrado, las instalaciones de captación por aspiración permiten suprimir todo el polvo producido. Estas instalaciones suelen ser demasiado complicadas y suelen ocupar demasiado espacio para que se las pueda utilizar en los transportadores instalados en el fondo de las minas; además, en muchos casos presentan problemas de conservación y de funcionamiento. A ello hay que añadir que en las minas de carbón se corre el riesgo de que al descargar y transportar el polvo seco recogido se inflame la atmósfera. No obstante, cuando los transportadores son grandes y su instalación es de carácter más permanente, como aquellos a que anteriormente se ha hecho referencia al hablar de las minas de metal, conviene utilizar las instalaciones de captación.

En la lucha contra el polvo en los puntos de carga y de transbordo se pueden obtener buenos resultados utilizando dispositivos de carga especiales, con cajas o cárteres que retienen la mayor cantidad posible del polvo que se produce durante las operaciones de carga (véase la figura 87). En el interior del cárter se deberían instalar rociadores de agua para aglomerar el polvo.

A este propósito cabe señalar que si se utilizan rociadores para combatir el polvo en los puntos de carga se debería instalar algún tipo de cerca, para que la neblina por los rociadores producida entre en contacto con el polvo, ya que con los solos rociadores no se suelen obtener muy buenos resultados, como se verá en los próximos párrafos.

Rociamientos.

Las medidas de precaución de que se acaba de hablar se pueden completar con el riego del mineral. Cuando en el frente de arranque se utiliza el agua para combatir el polvo, puede ser necesario volver a humedecer varias veces los productos que llevan los transportadores colectores largos para que no se sequen por completo. El volumen de agua necesario para esto dependerá de las condiciones atmosféricas que reinen en la mina, y se lo deberá controlar cuidadosamente, ya que el exceso de agua estropea las correas de los transportadores y puede hacer que patinen los tambores impulsores.

En los puntos de transbordo, el mineral debería ser regado en el momento en que pasa por las canaletas. Los rociadores deberían estar montados de manera que se aproveche la energía cinética de la proyección para eliminar del aire las partículas de polvo (véase la figura 88). Esto tiene gran importancia cuando es grande la velocidad del aire, caso en el cual no sólo conviene dirigir los pulverizadores en sentido contrario al de la corriente de aire, sino también instalar tabiques de desviación o aislar las canaletas parcialmente.

Como se acaba de decir, es difícil humedecer el polvo durante la caída de los productos, a no ser que se aisle el punto de origen del polvo (véase la figura 89), y se debería empezar a regar el

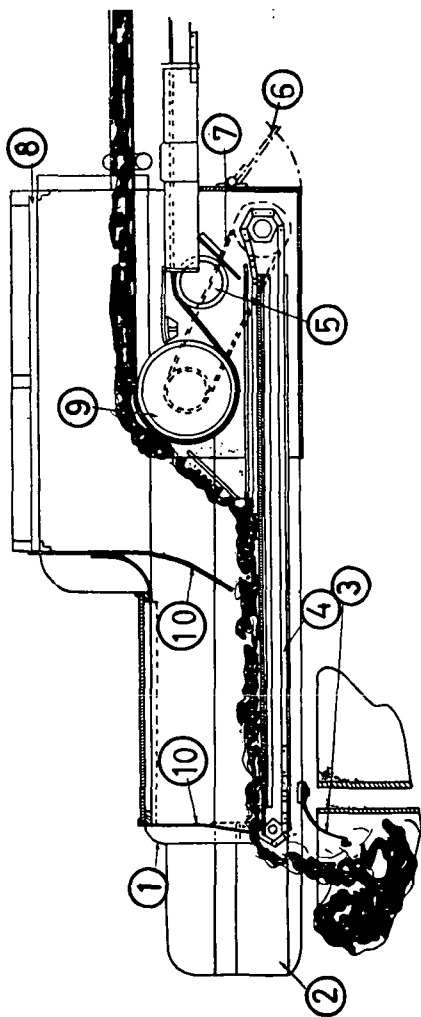


Fig. 87. — Punto de descarga de un transportador de correa.

1: Placa lateral de guía. 2: Prolongación de la placa lateral. 3: Cortina flexible contra el polvo (que también evita que el producto se desperdigue por el suelo). 4: Cadena con raederas. 5: Tambor de limpieza para la eliminación de los menudos de carbón. 6: Puercilla de observación. 7: Transportador blindado. 8: Tambor de avance. 9: Cortinas flexibles contra el polvo.

mineral sobre la correa del transportador a suficiente distancia del punto de caída para que esté completamente humedecido al llegar a él. El chorro de los rociadores debería en este caso cubrir una superficie de un ancho un poco menor que el de la correa y no debería ser muy delimitado. En el capítulo III se han descrito los rociadores y las válvulas automáticas que se deben utilizar en estos casos.

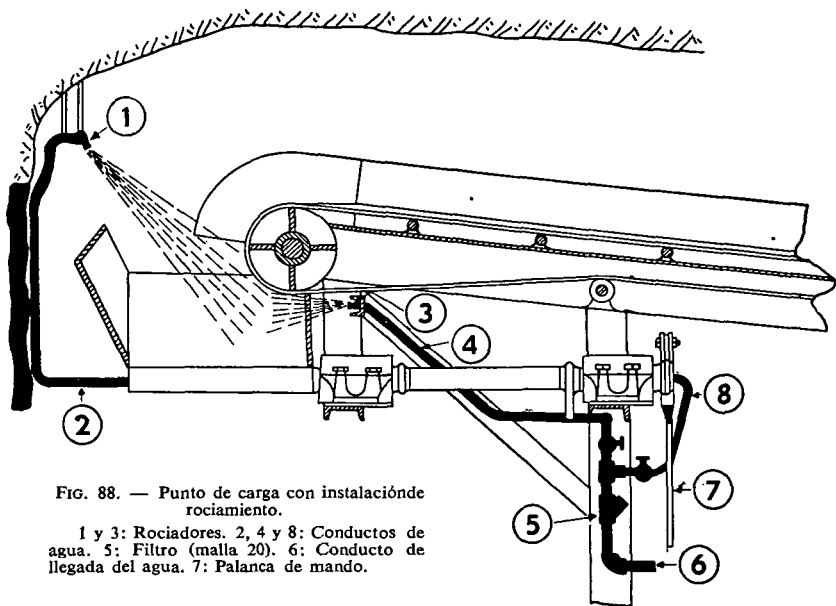


FIG. 88. — Punto de carga con instalación de rociamiento.

1 y 3: Rociadores. 2, 4 y 8: Conductos de agua. 5: Filtro (malla 20). 6: Conducto de llegada del agua. 7: Palanca de mando.

Limpieza del camino que recorren los transportadores.

Los resultados de un estudio realizado en un punto de carga característico podrán dar una idea de la magnitud del problema que crean el polvo y el mineral que caen de los transportadores durante el transporte. En el punto de carga estudiado se cargaban 600 toneladas de carbón por turno de trabajo y la velocidad media

de la corriente de aire era de 1,8 m/s. En estas condiciones, caían del transportador al suelo cerca de 4 toneladas de carbón por día, y la concentración de polvo en suspensión en el aire, con arreglo a los resultados del muestreo, era de entre 790 y 1.050 partículas de 1 a 5 micrones por centímetro cúbico.

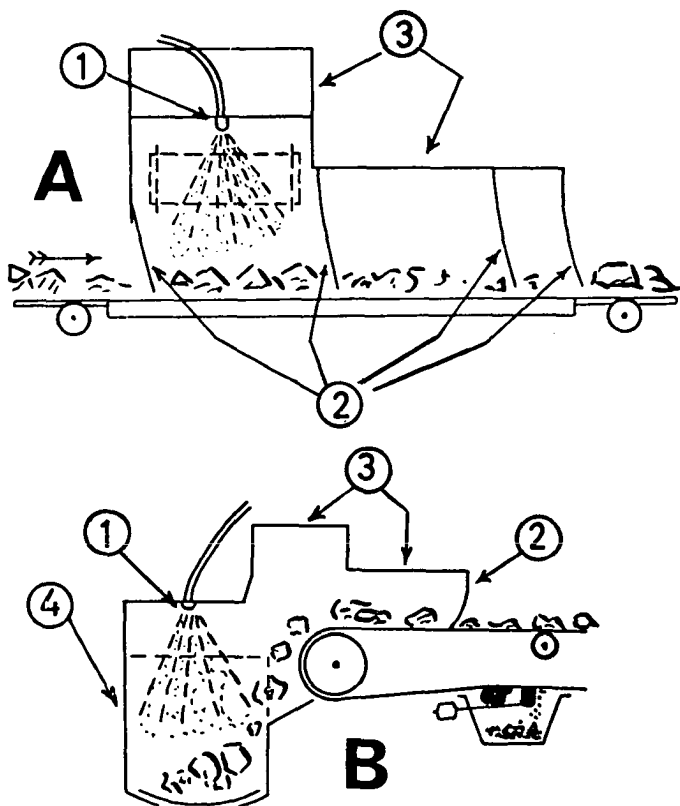


FIG. 89. — Supresión del polvo en un punto de transbordo.

A: Sección longitudinal. B: Sección transversal.

1: Rociadores. 2: Cortinas de caucho contra el polvo. 3: Cubierta de chapa fina de acero.
4: Tabique de caucho.

Si bien la caída del material se puede evitar en gran parte si se aplican las medidas anteriormente indicadas, el problema es sin embargo grave, y es preciso eliminar el polvo y el mineral que caen del transportador tanto en los puntos de carga como a lo largo de su recorrido.

Cuando el recorrido de un transportador es largo se lo debe limpiar regularmente. No conviene volver a cargar a pala el mineral sobre el transportador, no sólo porque se formarán nubes de polvo, sino también porque una gran parte de ese mineral volverá a caer poco después. Se deberían utilizar recipientes especiales o bolsas herméticas para recoger el polvo y los productos caídos y transportarlos a la superficie. Para recoger el polvo y el mineral caídos habrá que utilizar principalmente pala y escobilla, pero la escobilla se debe utilizar con precaución y convendrá humedecer el piso. Se han hecho ensayos de limpieza por aspiración. Los aparatos para esto ideados han dado resultados muy prometedores y convendría seguir haciendo experimentos con ellos.

LAS VAGONETAS

Las vagonetas son en muchas minas el principal medio de transporte de los productos. Las hay de muy distintos tamaños, desde la pequeña vagoneta de media tonelada empujada a mano, que se utiliza en las proximidades del frente de arranque, hasta la vagoneta de 4 a 6 toneladas remolcada a gran velocidad sobre raíles por una locomotora. Se las puede cargar a mano, como se hace con las más pequeñas, o con la ayuda de transportadores y de distintos tipos de cargadoras mecánicas como las descritas anteriormente, o de tolvas instaladas en la parte de abajo de los pasos para mineral.

Las principales causas de formación de polvo durante el transporte del mineral en vagonetas son el transporte de mineral seco, la mala construcción o el mal estado de las vagonetas y el exceso de carga. Aparte de esto, el vuelco del mineral hace que se levante mucho polvo.

Riego

Lo mismo que cuando se utilizan transportadores de correa, cuando se hace el transporte en vagonetas basta en la mayor parte de los casos con que los productos hayan sido bien humedecidos antes de dejar el frente para que el polvo permanezca aglomerado durante todo el transporte. Sin embargo, con la introducción de las locomotoras, al alargarse el recorrido y aumentar la velocidad del transporte, aumentando también el volumen y la velocidad de la corriente de aire que pasa sobre el mineral, tiende a secarse más la superficie de los productos que llevan las vagonetas. Se ha comprobado que para obviar este inconveniente es preciso instalar rociadores fijos por encima de los raíles, para regar las vagonetas durante el trayecto (véase la lámina III). Estos rociadores deberían funcionar automáticamente al paso de las vagonetas y deberían estar cuidadosamente regulados de manera que la cortina de agua se extienda un poco más allá de los bordes de las vagonetas y que el volumen de agua que de ellos sale sea el adecuado. Se debería cuidar de que el exterior de las vagonetas esté relativamente limpio, para que no se acumulen polvo o barro que puedan desprenderse con el movimiento de las vagonetas y pasar al aire.

Caída del mineral al suelo durante el transporte

Se necesita una vigilancia constante para reducir al mínimo la formación de polvo debida a la caída del mineral al suelo durante el transporte, una de cuyas principales causas es la sobrecarga de las vagonetas. Para evitar la sobrecarga no sólo se necesita un buen control y mucho cuidado por parte de los trabajadores, sino además que las instalaciones de carga y las puertas de las chimeneas sean estudiadas y construídas de manera que se pueda controlar bien la operación de carga de las vagonetas. Las chimeneas de carga deberían llegar lo más cerca posible del borde superior de las vagonetas, se las debería aislar todo lo que se pueda y se deberían instalar en ellas rociadores.

La construcción de las vagonetas es un factor de gran importancia para evitar la caída del mineral al suelo durante el transporte.

En primer lugar, no deberían dejar pasar el agua, y las compuertas de las que se descargan por el fondo o por los costados deberían cerrar bien y no dejar tampoco escapar el agua. Las vagonetas cuyas compuertas estén estropeadas o torcidas deben ser retiradas del servicio inmediatamente. Es conveniente emplear vagonetas de gran capacidad, ya que la parte del mineral cargado en ellas que queda expuesta al aire, en proporción al número de toneladas transportadas, es inferior a la que queda expuesta en las vagonetas de poca capacidad, de manera que la producción de polvo tiende a ser menor.

Galerías

Las galerías principales de transporte no deberían tener secciones en que su anchura se reduzca y que puedan hacer que aumente la velocidad de la corriente de aire que pasa sobre las vagonetas en movimiento. Los raíles deben estar bien nivelados y ser de muy buena calidad. La galería se debe limpiar constantemente de todo el polvo y el mineral caídos de las vagonetas durante el transporte (para facilitar esta limpieza se deberían colocar recipientes en la galería, a poca distancia unos de otros). Las vagonetas que están momentáneamente fuera de servicio no se deberían dejar en una vía de transporte principal, sino que se las debería llevar a una galería lateral por la que no pase la corriente principal de ventilación.

Locomotoras

En las locomotoras de motor de combustión interna o de aire comprimido, el orificio de escape debería estar dispuesto de manera que el gas o el aire del escape no levanten el polvo depositado sobre el piso o las paredes de las galerías.

Cámaras de reunión de vagonetas

En las explotaciones por socavones o por galerías inclinadas, las vagonetas pueden ser arrastradas directamente a la superficie.

En las minas de pozos verticales se pueden subir las vagonetas en jaulas o se puede volcar su contenido por cribones y subirlo después a la superficie en skips. En este último caso habrá que tomar medidas especiales para combatir el polvo en los lugares en que se vuelca el mineral, como se indicará más adelante. Si las vagonetas se agrupan en grandes cámaras antes de ser descargadas o metidas en las jaulas, se debe cuidar de que no choquen violentamente unas con otras y de que no reciban topetazos, evitando una inclinación excesiva de las vías e instalando frenos apropiados. La velocidad de la corriente de ventilación en estas cámaras no debe ser demasiado grande, y si es preciso se deberán abrir galerías de desviación.

VERTEDEROS

En los pozos se hallarán vertederos de varias dimensiones, según la cantidad de productos manejados. En los pozos más grandes, en que la extracción del material a la superficie se lleva a cabo a partir de un punto principal de carga, se suelen encontrar vertederos cuya capacidad es de 200 toneladas o más por hora. Aunque en todos los vertederos se debe mantener el mineral humedecido y se deben utilizar rociadores para mojarlo mientras se lo vierte por los pasos para mineral, en los grandes vertederos no basta con estas medidas para suprimir el polvo y hay que instalar un sistema de ventilación auxiliar.

Cuando se vacía en un vertedero el contenido de una vagoneta o de una tolva se desplaza un volumen de aire igual al del mineral volcado, aire que sale con mucha fuerza por la boca del vertedero arrastrando una gran cantidad de polvo que se extiende por la zona circundante. El objeto de la ventilación auxiliar es evitar esta oleada de aire o reducirla de manera que no resulte peligrosa. Los detalles del sistema de aspiración dependerán de las características particulares del vertedero y de sus alrededores. En la figura 90 se puede ver una instalación corriente de ventilación auxiliar, y en el capítulo V, relativo a la captación y la filtración del polvo, se ha hablado más detenidamente de estas instalaciones.

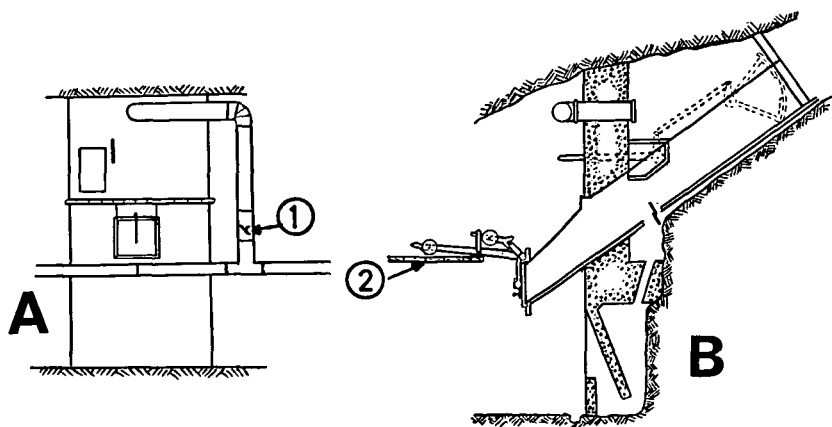


FIG. 90. — Chimenea para mineral.

A: Proyección vertical. B: Sección.

1: Llave de paso. 2: Plataforma de mando.

CHIMENEAS PRINCIPALES

El transporte del mineral por una red de chimeneas principales que conducen al pozo de extracción crea problemas de lucha contra el polvo análogos a los que hay que resolver en los lugares de trabajo, aunque de mayor magnitud. Además, estos problemas pueden ser aún más graves si estos pozos, como en muchos casos sucede, son al mismo tiempo vías principales de entrada de aire, y hay que tomar especiales precauciones para que los pasos para mineral no formen circuitos paralelos al circuito principal de ventilación ni tampoco formen cortos circuitos, lo cual daría por resultado la contaminación del aire de la corriente de entrada por el polvo que se forma en las chimeneas.

En muchos casos, las chimeneas desembocan directamente en las instalaciones de carga de skips, pero en otros casos desembocan en un depósito o acumulador para mineral desde los cuales se lo transporta hasta el punto de carga de los skips en un transportador

de correa. En este caso habrá que instalar un sistema de ventilación aspirante para extraer el polvo que se produce en todos los niveles de la red de chimeneas, en las galerías de transporte y en las vías de circulación. Si es posible, el polvo se descargará en un pozo de retorno de aire, pero en la mayor parte de los casos se necesitan grandes instalaciones de filtración.

EXTRACCIÓN DEL MINERAL A LA SUPERFICIE POR MEDIO DE JAULAS

Las medidas de lucha contra el polvo que hay que tomar en los puntos de descarga, en los pozos principales de extracción y en la cámara de reunión de las vagonetas cuando éstas se suben a la superficie en jaulas ya se han indicado anteriormente.

EXTRACCIÓN DEL MINERAL A LA SUPERFICIE POR MEDIO DE SKIPS

Cuando el mineral se sube a la superficie por medio de skips hay que tomar medidas contra el polvo en los principales lugares en que se vuelca el producto y en las tolvas para mineral, en las instalaciones de carga de skips, en todas las chimeneas principales que dan al pozo y, por último, en el pozo de extracción mismo, sobre todo si es un pozo de entrada de aire.

En los puntos de carga de skips se puede producir una gran cantidad de polvo que hay que poner especial empeño en combatir, sobre todo porque, como se acaba de señalar, esos puntos de carga suelen estar en pozos de entrada de la corriente principal de ventilación. Por esta razón, de ser posible se debería desviar la corriente de ventilación principal para que la velocidad del aire en los lugares de carga no sea muy grande y la contaminación de la atmósfera se reduzca.

Carga

En las minas de metal, la instalación de carga de skips consiste generalmente en una tolva de la cual pasa el producto, por chi-

meneas de poca longitud, a otras tolvas medidoras, cuyo número es igual al de skips. Debajo de las chimeneas y en el fondo de cada una de las tolvas medidoras hay compuertas de control.

La carga de los skips se hace en dos operaciones principales: la de llenar la tolva medidora y la de llenar el propio skip. La tolva medidora se llena mientras el skip está haciendo su recorrido, de manera que a la llegada de éste el contenido de la tolva puede pasar a él inmediatamente. La caída de los productos y el movimiento del skip desplazan una gran cantidad de aire que tiende a arrastrar el polvo que levanta la caída del mineral. Para evitar esto, las tolvas medidoras y las chimeneas de carga deberían estar construídas de manera que dejen pasar la menor cantidad de polvo posible, y se deberían instalar tomas de aspiración de capacidad suficiente correspondiente al volumen de aire desplazado e impedir que el polvo pase a la atmósfera.

Caída del mineral al suelo durante su extracción a la superficie

Durante la carga de los skips se debería controlar cuidadosamente la cantidad de mineral que pasa de la tolva medidora al skip, para que éste no se cargue demasiado, ya que de lo contrario caerá mineral durante el recorrido del skip y se formará polvo en el pozo. También el barro o el agua sucia que puedan caer de los skips formarán depósitos sobre las superficies horizontales del interior del pozo, los cuales se secarán, pasando el polvo al aire.

Aunque se tomen grandes precauciones al cargar los skips es inevitable la caída de cierta cantidad de mineral y de polvo al fondo del pozo, y habrá que tomar medidas para sacarlos de allí.

En la mayor parte de los casos, el fondo del pozo está por debajo de la última vía de salida que puede tomar la corriente de ventilación, y se necesitará una instalación de ventilación aspirante para que los trabajadores que lo limpian trabajen en condiciones de seguridad. Muchas veces se puede combinar esta ventilación con la instalación de extracción del polvo que se produce en los puntos de carga, pero otras veces habrá que hacer una instalación aparte.

Inspección y control

Los obreros que trabajan en las instalaciones de carga de skips suelen permanecer durante largo tiempo en su puesto y el riesgo que entraña el polvo para ellos puede ser considerable. Así, pues, es necesario hacer visitas de inspección y tomar las muestras oportunas para asegurarse de que las instalaciones funcionan bien y de que las condiciones existentes en los lugares de trabajo, sobre todo desde el punto de vista de la limpieza, son satisfactorias. La persona encargada de las operaciones de carga también debería velar por que se hagan desaparecer el polvo y los productos caídos de los skips y por que se laven los alrededores regularmente, de manera que el polvo no se acumule en ellos. La experiencia demuestra que si se quiere suprimir las concentraciones peligrosas de polvo en suspensión en el aire en estos lugares hay que tomar muy serias precauciones.

Si es necesario efectuar en el fondo del pozo trabajos tales como sacar el polvo y los productos caídos de los skips, uno de los encargados de los problemas de supresión del polvo en la mina debería hacer visitas de inspección periódicas a ese lugar, ya que sin estas inspecciones regulares y sin medidas apropiadas para combatir el polvo los obreros que trabajan en estos lugares que normalmente no se frecuentan están expuestos a un considerable riesgo.

TRANSPORTE DE MATERIALES EN EL FONDO

El transporte de materiales tales como maderos, máquinas, barrenas, tuberías, raíles, etc., entraña la utilización de un gran número de vagonetas y muchas operaciones de transporte y apilamiento. En las galerías principales de transporte, en las vías de ventilación y en los lugares de carga se pueden acumular tantos materiales que se perturbe la corriente de ventilación y se levante polvo. Además, la carga y descarga de material pesado, como raíles y tuberías, sobre todo si se trata de material ya utilizado y que está cubierto de barro o de polvo, puede levantar grandes nubes de polvo si no se toman muchas precauciones.

Además de poner a disposición de los trabajadores medios de descarga apropiados y suficiente espacio para almacenar el material, la dirección de las minas debería cuidar de que a estos trabajadores se les den las adecuadas instrucciones y se los vigile a fin de asegurarse de que toman todas las precauciones necesarias para evitar la formación de nubes de polvo.

CAPÍTULO XI

CIRCULACIÓN POR LAS GALERÍAS SUBTERRÁNEAS

Si el polvo depositado en las galerías de las minas se levanta y pasa al aire en forma de nubes constituye un peligro para la salud de los trabajadores, y en las minas de carbón puede además ocasionar una explosión. En las minas donde no hay una humedad natural debida a la infiltración del agua o a su acumulación por mal desagüe, las galerías pueden estar cubiertas de polvo. Parte de este polvo se puede formar por desgaste del suelo de la galería o del material empleado para rellenarlo y nivelarlo, una gran parte de él puede también deberse a la caída de los productos que se transportan por la galería, y en las vías de ventilación se puede depositar el polvo que arrastra la corriente de aire. Este polvo que arrastra la corriente de ventilación puede haber pasado al aire en el frente de arranque, en los puntos de transbordo de los productos o en otros lugares donde se maneja una gran cantidad de carbón o de roca estéril. Como se ha visto en los capítulos anteriores, se deberían tomar todas las medidas posibles para impedir que el polvo pase al aire, pero hágase lo que se haga siempre habrá cierta cantidad de polvo en suspensión, y este polvo se depositará en las galerías, donde hay que evitar que vuelva a pasar a la atmósfera.

La mecanización de los trabajos mineros ha permitido reducir el número de galerías de transporte y utilizar equipo más rápido y pesado para transportar el mineral. Asimismo es ya posible limitar el movimiento del personal a los momentos en que empiezan y terminan los turnos de trabajo, y se lo tiende a evitar entre esos períodos.

Los movimientos de grandes grupos de trabajadores por galerías

polvorientas levantan mucho polvo, de manera que la salud de esos trabajadores se encuentra amenazada, aparte de las molestias que ocasiona el polvo. Si en las galerías de circulación no se puede suprimir el polvo en la medida suficiente o no se lo puede aglomerar convenientemente, puede ser necesario proporcionar al personal medios de transporte mecánicos para que recorra en ellos las galerías existentes, o puede ser necesario abrir galerías reservadas exclusivamente a la circulación de los trabajadores.

TRANSPORTE DE LOS TRABAJADORES

En muchas de las minas explotadas por métodos modernos, los trabajadores ya no se dirigen casi nunca a pie a sus lugares de trabajo. Ya se transporte al personal por un sistema de tracción a cable o en locomotoras, se utilizan actualmente vehículos especiales. Si las galerías y las vías están bien construídas, lo cual es fundamental, los trabajadores llegan al punto de destino sin que se levante mucho polvo. Además, como hacen el trayecto en menos tiempo que el que les llevaría recorrerlo a pie, es menor su exposición al polvo que pueda haber en suspensión en el aire.

Hay que cuidar especialmente de que no se levante polvo en los lugares en que los trabajadores suben a los vehículos o bajan de ellos, los cuales, además, habría que tener limpios y libres de polvo.

También se pueden tomar disposiciones para el transporte del personal por las galerías en pendiente. Como subir una pendiente supone un esfuerzo, la respiración se hace inmediatamente más rápida y más profunda, de manera que el polvo en suspensión en el aire entraña un mayor riesgo para la salud. Para el transporte del personal por las galerías en pendiente se utiliza mucho el sistema de tracción por cable, y uno de los últimos ideados consiste en un cable aéreo del cual van suspendidos asientos individuales, como en los telesquíes.

El transporte del personal por medios mecánicos no sólo presenta ventajas desde el punto de vista de la salud de los trabajadores, sino que también las presenta desde el punto de vista de

la seguridad (ya que se evita la circulación a pie por las vías de transporte); además, los trabajadores se cansan menos y se ahorra mucho tiempo en viajes.

GALERÍAS DE CIRCULACIÓN ESPECIALES

Abrir galerías destinadas exclusivamente a la circulación del personal es muchas veces imposible, pero en algunas de las minas más modernas se han tenido que abrir, además de las galerías de transporte principales, vías de entrada de aire que en muchos casos se pueden utilizar como galerías de circulación, con la ventaja adicional de que el personal circula por una galería donde el aire es puro.

A menudo, la solución más práctica consiste en utilizar para la circulación, en lugar de las galerías de transporte, las galerías de retorno de aire. En este caso hay que mantener un control y una vigilancia continuos para asegurarse de que el aire no está cargado de polvo fino procedente de los lugares de trabajo.

En todo caso, las galerías de circulación que se abren con objeto de que el personal no circule por las vías de transporte deberían ser por lo menos tan cómodas como estas últimas. El trayecto debería ser más fácil y más rápido, no debería haber en él grandes pendientes, y la superficie del piso debería ser buena y prestarse para la aplicación de algún procedimiento de aglomeración del polvo. Si se circula mucho por estas galerías puede ser conveniente hacer un camino de cemento o de asfalto.

ELIMINACIÓN DEL POLVO DEPOSITADO

Aun adoptando todas las precauciones posibles es casi inevitable la caída de cierta cantidad de material al suelo durante el transporte, y las vías de transporte se deben limpiar con toda regularidad. Al recoger el polvo se debe cuidar de que no se disperse de nuevo en la atmósfera. Si la limpieza se hace con escobas y palas hay que ir regando bien el suelo a medida que

se avanza. El polvo debería ser recogido y transportado fuera de la mina en recipientes especiales; no se lo debe cargar nuevamente en las vagonetas al paso de éstas, como a veces se hace, porque gran parte de él volverá a caer en la galería de transporte.

En algunos países se utilizan aparatos aspiradores para la limpieza del piso de las galerías. Uno de estos aparatos, que aspira 20 m^3 de aire por minuto, está acoplado a un filtro compuesto de seis ciclones y de 108 mangas cilíndricas de lana, con una superficie total de filtración de 17 m^2 , aproximadamente, y un dispositivo especial que sacude el filtro, de modo que el polvo recogido cae en recipientes que pueden ser retirados y vaciados. La boquilla de aspiración está fijada al extremo de un tubo flexible, de manera que se la puede hacer correr por encima del piso de la galería, y puede aspirar partículas de hasta 2,5 mm de diámetro a 10 cm de distancia. La máquina está movida por un motor de 7,5 CV y se la puede montar sobre ruedas de goma o de manera que circule por los raíles instalados en las galerías.

CONSOLIDACIÓN DEL POLVO DEPOSITADO EN LAS GALERÍAS

Con las medidas hasta ahora indicadas no se resuelven todos los problemas. Hay muchos casos en que tienen que circular por galerías polvorientas gran número de trabajadores, y es necesario consolidar de alguna manera el polvo depositado en las galerías para que no se levante y pase al aire.

La consolidación consiste en impregnar de agua el polvo y los productos depositados sobre el suelo, para formar una especie de barro que con las pisadas adquiere firmeza y cierta plasticidad. Los resultados de los experimentos que se han hecho demuestran que, para que el polvo permanezca aglomerado, el contenido en agua de este barro debe ser de alrededor de 10 por ciento. Como la corriente de ventilación hace que el agua se evapore, el polvo terminaría por secarse y se podría dispersar nuevamente, y para evitar esto se puede agregar una sal higroscópica en cantidad que habrá de depender de la humedad del aire. Si se agrega esta sal

se mantendrá durante largo tiempo el contenido en agua de la capa de polvo consolidado que se desea mantener.

El empleo de sales higroscópicas con este fin ya se propuso antes de 1880. Poco después se hicieron ensayos con sal común y cloruro de calcio, y se siguió haciéndolos en diversos países hasta pasado 1930. Luego, la síntesis industrial de los agentes humectantes permitió resolver satisfactoriamente el problema de la humidificación del polvo depositado. Desde entonces se ha generalizado la utilización de las sales. Se han hecho experimentos utilizando, en vez de cloruro de calcio, cloruro de magnesio, y en atmósferas muy húmedas cloruro de sodio. También se han hecho ensayos con otras sustancias, especialmente subproductos de la industria de la pasta de madera.

Métodos de consolidación del polvo

Para que el polvo depositado sobre el suelo se consolide bien es preciso cuidar de todos y cada uno de los detalles que a continuación se indican:

1. El polvo depositado debe ser rápida y completamente humedecido antes de que los trabajadores pasen de nuevo por la galería, para que con sus pisadas no saquen nuevamente a la superficie polvo que no esté húmedo. También es necesaria la humidificación completa para que la sal que se ha de echar penetre de manera uniforme en el barro así formado. La capa de polvo depositada en las galerías de las minas rara vez se puede humedecer convenientemente con agua sola, y por lo general es necesario utilizar una solución de un agente humectante.

2. La capa humedecida y consolidada se debe mantener suficientemente húmeda para que no se endurezca demasiado, para que no se seque y para que las pisadas no la conviertan nuevamente en polvo.

3. Se debe repetir periódicamente el tratamiento, a fin de mantener la capa de polvo consolidado en las condiciones deseadas.

Antes de comenzar el tratamiento conviene sacar de la galería los maderos y los fragmentos de carbón o de roca que pueda haber en ella. La capa de polvo, y especialmente los depósitos espesos que puedan haberse formado a lo largo de las paredes de la galería, se deberían nivelar un poco. Luego se debería echar polvo de roca sobre todas las superficies de la galería en que se ha de hacer el tratamiento de consolidación del polvo, tanto en el techo y en las paredes como en el piso. Para obtener una buena capa de polvo consolidado es necesario que haya sobre el suelo por lo menos 2,5 cm de polvo.

Riego de la capa de polvo.

Si el piso no ha sido antes regularmente rociado con agua o no se está seguro de que el polvo en él depositado se humedece fácilmente con agua sola, se lo debe regar con una solución al 0,5 por ciento, aproximadamente, de un agente humectante. El agente humectante que haya de utilizarse y su concentración deberán depender de la naturaleza del polvo, de la clase de agua que haya que utilizar y de las condiciones existentes en los lugares de trabajo de la mina. Antes de hacer el tratamiento se deberían hacer varios ensayos con muestras representativas del polvo que se desea consolidar. En muchos casos convendrá hacer ensayos con diferentes agentes humectantes, y habida cuenta del costo de las preparaciones comerciales y de las concentraciones necesarias, elegir entre los que sean eficaces para la consolidación del polvo de que se trate el que resulte más barato.

El agua o la solución humectante podrá ser extraída de un depósito mediante una bomba y esparcida sobre la capa de polvo con un rociador, pero hay que tener en cuenta que si el agua está excesivamente pulverizada (como en la neblina producida por los rociadores a aire comprimido) no se obtendrán muy buenos resultados. Para mayor facilidad, conviene utilizar un dosificador conectado con la red de distribución de agua, que el agua misma pone en funcionamiento y que mezcla con ésta el agente humectante dando el grado de concentración que se haya determinado de antemano.

No se deben lanzar grandes chorros de agua sobre el polvo, sino que se deben hacer varios rociamientos ligeros, que se deben repetir hasta que se humedezca bien la superficie. El riego no debe ser excesivo, y no se deben formar charcos ni el agua debe correr formando surcos. Debería bastar con 2 litros de solución por metro cuadrado. Si no es posible hacer ensayos con diferentes agentes humectantes para comprobar su eficacia, se debería ensayar con una solución al 0,5 por ciento. En este caso, la cantidad de agente humectante necesaria es de 30 kg por cada 100 m de galería de 3 m de ancho.

Después de hechos los rociamientos con la solución humectante no se debería tocar para nada el piso durante por lo menos media hora; luego se lo debería regar con agua con toda la rapidez con que la absorba.

La capa de polvo se debería humedecer hasta una profundidad de 2,5 cm o más en el término de una hora, aproximadamente. Si al cabo de una hora la humedad no ha llegado hasta esa profundidad habría que hacer nuevos rociamientos con agua y esperar una hora más antes de esparcir el cloruro de calcio. En total, se necesitan alrededor de 40 litros de agua por metro cuadrado.

Cómo se debe esparcir el cloruro de calcio.

Una vez humedecida la capa de polvo, se esparcirá sobre ella uniformemente, a pala, cloruro de calcio en escamas. Para que sea más fácil esparcir uniformemente este cloruro de calcio, se lo debe ir colocando previamente en bolsas a lo largo de la galería, esperando para ello a que el piso haya secado un poco.

La proporción de cloruro de calcio que debe contener la capa de polvo (y por lo tanto la cantidad de cloruro de calcio que habrá que esparcir) para que se mantenga en dicha capa un contenido de agua de aproximadamente 10 por ciento dependerá de la humedad del aire. En el cuadro que se incluye a continuación se indican la proporción de cloruro de calcio necesaria en una capa de polvo de entre 2,5 y 5 cm de espesor medio según el grado de humedad del aire y la cantidad de dicho producto que habrá que esparcir por metro cuadrado.

| Humedad relativa del aire | Proporción de cloruro de calcio que debe contener la capa de polvo para que su contenido en agua siga siendo de 10 por ciento | Cantidad de cloruro de calcio en escamas que habrá que esparcir |
|------------------------------|--|---|
| % | % | kg/m ² |
| 40 | 7 | 3,8 |
| 50 | 6 | 3,3 |
| 60 | 5 | 2,7 |
| 70 | 4 | 2,2 |
| 80 | 3 | 1,6 |
| 90 | 2 | 1,1 |

Se deberían hacer dos aplicaciones de cloruro de calcio, la primera una hora después del riego y la segunda una semana después. En la primera aplicación se deberían esparcir tres cuartas partes de la cantidad total necesaria para el tratamiento y en la segunda la cantidad restante. En esta segunda aplicación se debería esparcir mayor cantidad sobre las partes secas de la capa que sobre las partes húmedas. Puede llegar a necesitarse mayor cantidad de cloruro de calcio que la prevista si la capa de polvo era originalmente muy espesa o si el agua ha penetrado en ella muy profundamente; el aspecto de la capa lo indicará.

Se debería tratar de obtener un piso firme, pero con la plasticidad suficiente para conservar la huella de un taconazo, por ejemplo. El error que más generalmente se comete es el de dejarlo demasiado seco. El cloruro de calcio se licua en un día, poco más o menos, y la capa de polvo sometida a tratamiento lo absorbe inmediatamente y una vez que lo ha absorbido se desmenuza con facilidad. Para que se consolide como es debido se la debería pisotear o apisonar, y cuanto más se lo haga mejor se consolidará.

El cloruro de calcio puede irritar la piel si permanece en contacto con ella durante mucho tiempo, y también puede atacar el calzado de cuero. Por consiguiente, se debería evitar el contacto prolongado con este producto o con ropa impregnada de él. Los trabajadores

que efectúan las operaciones de consolidación deberían llevar botas y monos de caucho, los cuales se deberían luego enjuagar con agua clara antes de lavarlos con agua y jabón.

Conservación del piso de la galería en buenas condiciones.

A la larga, la capa de polvo consolidado tiende a secarse y a pulverizarse nuevamente. Si se evita la caída de material al suelo durante el transporte y el depósito de polvo fresco, la alteración del piso será normalmente lenta. Se deberían sacar prontamente del piso tanto los productos que en él caigan como el polvo que en él se vaya depositando, para que al incorporarse en él no lo endurezcan. De todas maneras, la superficie de la capa se irá endureciendo poco a poco al ir penetrando el cloruro de calcio a mayor profundidad.

Cuando la capa de polvo consolidado pierde plasticidad y empieza a resquebrajarse se la puede someter a un tratamiento para dejarla nuevamente en buenas condiciones, pero antes se debería sacar a pala el material que haya caído al suelo y se debería escobillar ligeramente la superficie para sacar también el polvo.

Después se debería regar ligeramente el piso con agua y se debería esparcir sobre la superficie parcialmente seca cloruro de calcio en cantidad suficiente para que el piso vuelva a adquirir plasticidad (debería bastar con una cuarta parte, aproximadamente, de la cantidad de cloruro de calcio esparcida la primera vez).

Si no es mucho el material que cae al suelo durante el transporte ni es grande la cantidad de polvo fresco que se deposita en la galería, el piso debería permanecer en buenas condiciones durante seis meses, por lo menos, sin necesidad de esparcir sobre él cloruro de calcio durante ese tiempo, pero puede ser conveniente regarlo con agua tres meses después del tratamiento de consolidación, poco más o menos.

Utilización del cloruro de magnesio.

La tensión del vapor de las soluciones saturadas de cloruro de calcio y de cloruro de magnesio es lo bastante baja para que estas

sales absorban la humedad de la atmósfera y se vayan licuando en las condiciones de humedad que suelen reinar en las minas.

Se han hecho algunos ensayos de consolidación del polvo depositado en las galerías de las minas con cloruro de magnesio, pero los resultados han sido desiguales. El cloruro de magnesio debería ser tan eficaz como el cloruro de calcio, ya que la humedad que debe haber en la atmósfera para que una y otra de estas sales absorban el agua es la misma. Los malos resultados de algunos de los ensayos realizados con cloruro de magnesio pueden deberse a las condiciones en que se haya hecho el tratamiento.

Utilización del cloruro de sodio.

El cloruro de sodio (sal común) sólo absorbe el vapor de agua cuando el grado de humedad de la atmósfera pasa de 75 por ciento. Cuando el aire es más seco, las soluciones de cloruro de sodio pierden agua y finalmente se cristalizan.

El cloruro de sodio ha sido utilizado en diversos países para la consolidación del polvo. En Estados Unidos, por ejemplo, se lo ha utilizado en las galerías de circulación de vagonetas lanzaderas. En el Reino Unido se lo utiliza principalmente en el condado de Northumberland. El piso de las galerías destinadas exclusivamente a la circulación del personal se somete a tratamiento en toda su anchura. En las galerías de entrada de aire que se utilizan para el transporte de material sólo se somete a tratamiento una banda de 0,6 a 1,2 metros de ancho del lado de la vía de las vagonetas vacías. El grado de humedad de la atmósfera de las minas es superior al 80 por ciento. El tratamiento con cloruro de sodio deja húmeda la capa de polvo depositada sobre el piso y le da plasticidad, sin que sea necesario repetir el tratamiento mientras no transcurran nueve meses o un año. Primeramente se limpia el piso de la galería y se lo nivela; después, si hay mucho polvo, se lo riega con agua. A continuación se echa polvo de roca sobre el piso, el techo y las paredes de la galería, y por último se extiende sobre el piso una capa de cloruro de sodio seco de entre 2 y 3 mm. La capa de polvo se consolida y en unos cuantos días adquiere la necesaria consistencia.

Se ha tratado de utilizar el cloruro de sodio húmedo para inmovilizar el polvo de carbón en el momento en que se deposita, no tanto con objeto de aglomerar el polvo depositado en las galerías de circulación como para evitar explosiones. El tratamiento consiste en extender una capa de sal sobre todas las superficies de la galería y después humedecerla bien por rociamientos. Después de este riego el agua se evapora y la sal vuelve a cristalizar aprisionando el polvo de carbón depositado. Es preciso seguir haciendo rociamientos cada pocos días para que este proceso se repita. Como se ha dicho anteriormente, la humedad atmosférica debe ser inferior a 75 por ciento para que este procedimiento dé buenos resultados.

El cloruro de sodio puede corroer los conductores de cobre, lo cual es peligroso. En las minas en que se utilizan locomotoras eléctricas a trole y la instalación es de una sola línea de contacto son muy de temer los cortos circuitos cuando se esparce cloruro de sodio. En algunas minas en que se utiliza mucho esta forma de tracción se trata de extraer el polvo depositado en las galerías más bien que de consolidarlo.

CAPÍTULO XII

INSTALACIONES DE PREPARACIÓN Y OTRAS INSTALACIONES DE SUPERFICIE

PRINCIPIOS GENERALES APLICABLES

En las instalaciones de preparación de las minas de carbón, de las minas de metal y de las demás minas, así como en las de las canteras, se deben tomar tantas precauciones contra el polvo como en los lugares de trabajo subterráneos. De lo que se trata en todos y cada uno de los casos es de evitar que el polvo sea inhalado por los trabajadores, aunque en ciertas instalaciones metalúrgicas puede además interesar la recuperación del polvo por su valor económico.

Lo mismo que en el fondo de las minas, las medidas que se apliquen deberían tener por objeto evitar o reducir la producción de polvo e impedir que éste pase a la atmósfera. Si antes de construir las instalaciones se estudian detenidamente el procedimiento industrial de que se trata y el trazado que conviene, cabe la posibilidad de modificar e incluso eliminar algunas de las operaciones en que más polvo se produce, y por consiguiente reducir la producción total de polvo y el costo de las instalaciones de ventilación y de extracción del polvo, que suelen ser muy caras.

El planeamiento y el montaje en las instalaciones de preparación de minerales de sistemas de supresión del polvo exigen amplios conocimientos teóricos y prácticos, de manera que conviene confiar la construcción y el montaje de los aparatos necesarios a empresas especializadas que tengan la adecuada experiencia y que dispongan de los datos indispensables para determinar bien los elementos del sistema de supresión del polvo, entre ellos la red

de conductos de aspiración, que en las instalaciones de preparación de minerales suele tener muchas ramificaciones.

No obstante, es sumamente conveniente que las personas encargadas de aplicar las medidas de lucha contra el polvo en la propia mina y el personal técnico de la misma tengan por lo menos algunas nociones generales acerca de los métodos de supresión del polvo. En muchos casos se reconstruyen las instalaciones de preparación del mineral o se hacen transformaciones en el sistema de eliminación del polvo, y si en la empresa no hay nadie que conozca los fundamentos de estos métodos las transformaciones pueden ser mal hechas y se puede perder mucho tiempo y mucho dinero.

Utilización del agua

El agua es el principal medio de lucha contra el polvo, y se la debe utilizar siempre que quepa la posibilidad de hacerlo. Si se mantienen húmedos todos los productos que se someten a tratamiento o se transportan, se evitará en gran medida la formación de polvo. Al mismo tiempo, si se riegan bien regularmente los alrededores de todos los lugares donde se produce polvo se evitará su acumulación y será más fácil mantener limpio el aire. El agua, que cuesta relativamente poco, siempre da buenos resultados si se la utiliza sensatamente.

Los edificios

Los edificios deberían estar contruídos de manera que el volumen de aire sea en ellos suficiente y la iluminación sea buena, y las superficies en que se pueda acumular polvo deberían ser lo más reducidas posible. Los suelos deben ser lisos, impermeables y un poco inclinados hacia sumideros adecuadamente situados. Los espacios libres y los lugares de paso deberían estar siempre limpios y no debería depositarse en ellos ningún material que no sea forzoso tener allí. En las operaciones en que hay que utilizar agua se deberían evitar las salpicaduras de barro y la formación

de neblina, y las máquinas deberían estar instaladas de manera que no resulte difícil echarles agua en cantidad para lavarlas y mantenerlas limpias.

Ventilación general

En todas las grandes instalaciones será necesario tomar medidas especiales para asegurar una ventilación adecuada. En la cuestión de la ventilación hay que tener en cuenta los dos aspectos siguientes: ventilación general del edificio; ventilación auxiliar por aspiración en determinados lugares donde se produce polvo. Al estudiar los sistemas de ventilación de las instalaciones de preparación de minerales y de los talleres se advertirá que cada proyecto plantea problemas particulares que requieren soluciones particulares; las necesidades varían de un lugar a otro y pueden depender de las condiciones climatológicas locales o de la clase de operación de que se trate y de la naturaleza de los productos manejados. No obstante, cuando se produce poco polvo, la aireación natural puede bastar en muchos casos para asegurar la renovación del aire necesaria para la ventilación general.

Ventilación auxiliar

El propósito con que se instala un sistema de ventilación auxiliar es el de captar el polvo e impedir que se disperse hacia los lugares de trabajo, llevarlo por conductos a aparatos extractores que eliminan una proporción de ese polvo determinada de antemano, descargar el polvo extraído en un lugar adecuado y lanzar nuevamente al circuito de ventilación el aire limpio sin peligro alguno para los trabajadores. Cada una de estas cosas es un problema que hay que resolver.

Un sistema de aspiración bien concebido que asegure una perfecta circulación del aire es cosa muy complicada (véase la lámina VI). El número, la situación y la forma de las bocas de aspiración, así como la longitud, los ángulos y el diámetro de los conductos y la capacidad de los ventiladores, tienen que ser deter-

minados en relación los unos con los otros. Por lo tanto, puede comprenderse fácilmente que todo cambio que se introduzca en cualquier parte de uno de estos sistemas repercutirá sobre las demás partes.

La dispersión del polvo en las proximidades del lugar en que se efectúa una labor o una operación determinadas depende en gran medida de la distribución de las velocidades de las corrientes de aire producidas por la caída del material o por el movimiento de los objetos. De aquí que se deba tratar de reducir al mínimo esas casuales corrientes de aire mediante un buen trazado de las instalaciones y luego de dirigir el aire hacia el lugar donde se ejecutan las operaciones, para después extraerlo, junto con el polvo, por los conductos de aspiración, instalando asimismo, de ser posible, las adecuadas estructuras de aislamiento. Pero si bien el aislamiento completo de los lugares donde se produce polvo es muy conveniente para que la ventilación sea eficaz, son muchas las operaciones que no permiten hacerlo, porque los trabajadores que las ejecutan necesitan tener libertad de movimientos y poder ver sin dificultades cómo se está desarrollando la operación.

Campanas de aspiración

Se debe prestar especial atención a los orificios por los cuales se aspira el polvo. La eficacia de la aspiración depende en gran medida de cómo estén situados estos orificios y de cómo estén conectados con el sistema de aspiración desde el punto de vista de la aerodinámica.

Las paredes de las campanas de aspiración deben irse acercando poco a poco al orificio de extracción (véase la figura 91), ya que de lo contrario se reducirá considerablemente la velocidad del aire en sus ángulos interiores y no bastará para asegurar de manera conveniente la aspiración del aire cargado de polvo en toda la periferia de la campana. Cuando las aberturas son muy grandes se las puede reducir por medio de chapas desviadoras, contrarrestando la turbulencia que con ello se pueda dar a la corriente de aire por medio de tabiques especiales. Se ha compro-

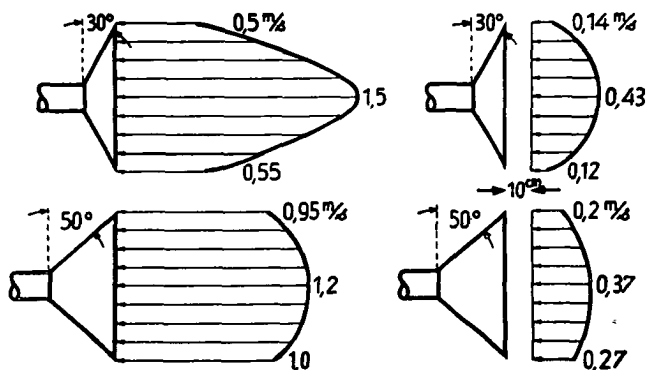


FIG. 91. — Aberturas de campanas de aspiración.

Adviértase la variación de la velocidad del aire en los bordes de la campana en relación con su parte central, según el ángulo de la campana.

bado que en las campanas de aspiración horizontal que tienen un orificio de aspiración demasiado grande conviene cubrirlo parcialmente (véase la figura 92).

En la figura 93 se reproducen algunos tipos de caperuzas de aspiración, que, como se advertirá, pueden tener la forma de capotas o pueden ser campanas laterales, ranuras de aspiración, campanas invertidas situadas bajo el banco de trabajo o en la parte de abajo de la zona en que se efectúa la operación que aspiran el polvo también hacia abajo, o campanas flexibles o móviles de diversos tipos.

La velocidad de captación debería ser lo bastante grande para neutralizar todo movimiento del aire hacia la atmósfera exterior provocado por la operación que se ejecuta, pero al mismo tiempo lo bastante baja en el interior del recinto para que no sean aspirados los productos. Las velocidades mínimas deben ser superiores a las velocidades normales que tiene el aire en la sala de trabajo, esto es, de por lo menos 15 m/min y por lo general de unos 50 m/min. Si en una operación las partículas de polvo son proyec-

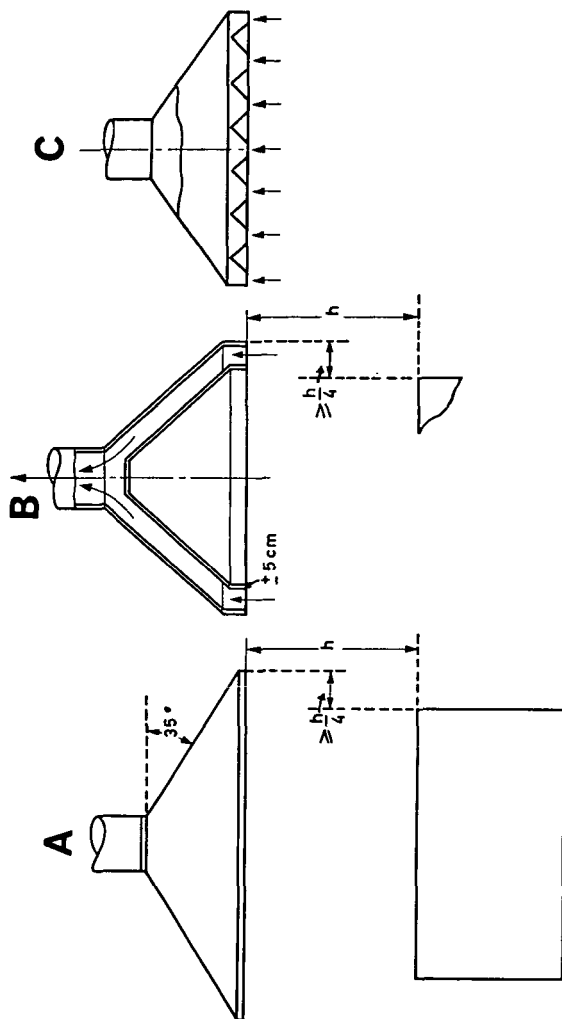


FIG. 92. --- Campanas de aspiración de humos y vapores.

A: Posición de la campana en relación con el depósito que hay que ventilar. B: Campana de paredes dobles. C: Campana con reductores de entrada.

tadas a gran velocidad en determinada dirección, se debería utilizar una campana de forma apropiada, con una velocidad de aspiración superior a la velocidad de las partículas. La figura 94 muestra la rapidez con que se reducen las velocidades del aire cuanto ma-

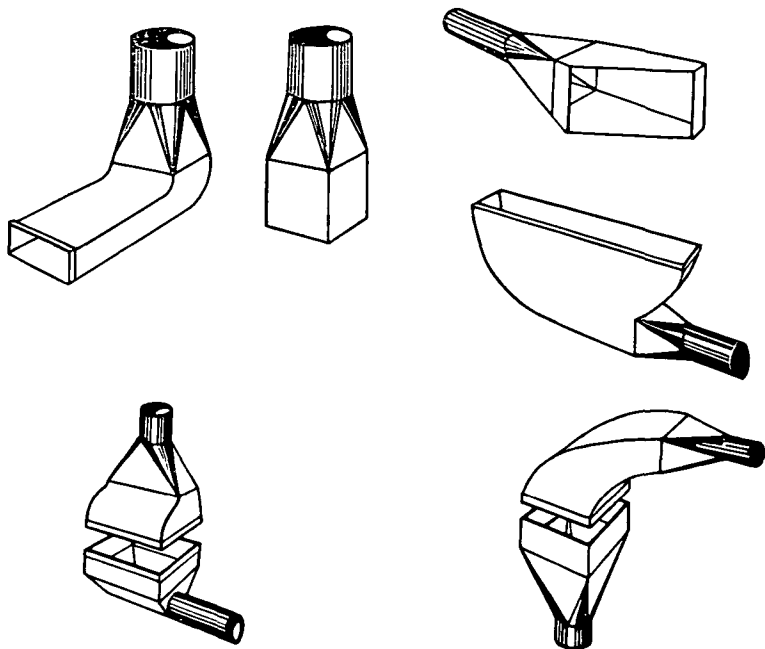


FIG. 93. — Campanas y caperuzas de aspiración de forma especialmente estudiada para distintos tipos de máquinas.

yor es la distancia a la boca de un conducto circular de aspiración.

El volumen de aire que se ha de aspirar dependerá de la superficie del lugar del cual hay que extraer el polvo y de la distancia entre la campana de aspiración y la zona donde se efectúa el

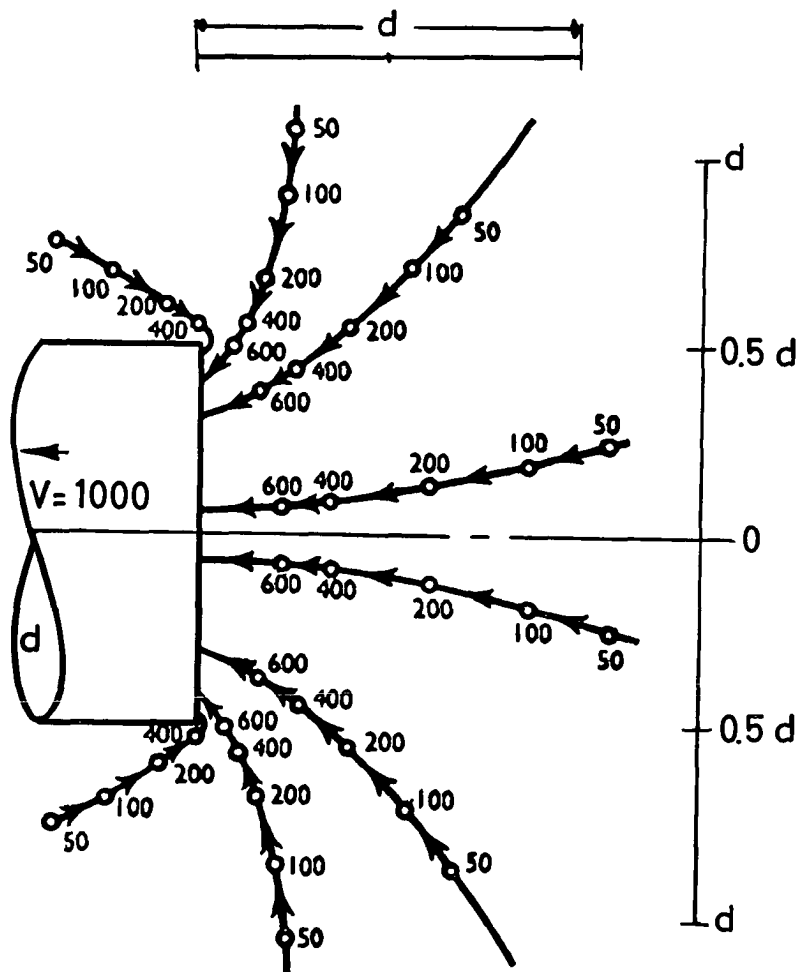


FIG. 94. — Disminución de la velocidad del aire cuanto mayor es la distancia a la entrada de un conducto circular de aspiración.

trabajo. Como este volumen es el producto de la velocidad por la superficie, es evidente que cuanto más pequeñas sean las aberturas que hay que dejar mayor será el ahorro en energía y en el equipo necesario para la aspiración del polvo.

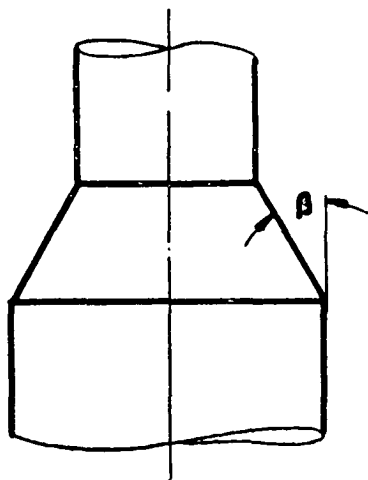


FIG. 95. — Cambio de diámetro de un conducto de aire.

Si se trata de una reducción del diámetro, β no debe pasar de 30 grados. Si se trata de un aumento de diámetro, β no debe pasar de 10 grados.

Conductos de aspiración

El polvo en suspensión en el aire es arrastrado junto con éste fuera del lugar en que se ha formado por una tubería. El trazado de la red de conducción debería ser detenidamente estudiado, de manera que ofrezca la menor resistencia posible al aire, evitándose en él los ángulos muy cerrados y los bruscos cambios de diámetro (véase la figura 95). El diámetro de los ramales se debe calcular de manera que proporcione en cada lugar el volumen de aire que

se necesita, y se debería determinar la resistencia total del sistema de conducción para poder elegir un ventilador apropiado. La buena circulación del aire dependerá no sólo del diámetro de los conductos, sino también del número, de la situación y de la forma de las bocas de aspiración, de la longitud de la tubería y del número y la forma de los codos y de las juntas. En la figura 96 se verán algunos ejemplos de lo indicado y de lo contraindicado para esto.

La velocidad del aire en el interior de los conductos debe ser de entre 900 y 1.200 m/min, según la clase de conducto, y un poco mayor en los conductos principales que en los conductos secundarios. La velocidad conveniente se debe obtener merced al buen cálculo de la sección de los conductos, debiendo evitarse el empleo de reguladores ajustables o de válvulas de regulación. En la práctica puede haber que utilizar los conductos de diámetros corrientes que se encuentran en venta en el comercio, pero en las instalaciones muy grandes puede ser más conveniente hacer fabricar especialmente los conductos de la sección que se desea.

La resistencia del sistema de conducción se calcula sumando las resistencias de cada uno de los siguientes elementos:

- a) entrada de la campana de aspiración o del conducto;
- b) ramales;
- c) conducto principal;
- d) instalación de captación del polvo: entrada, filtros y salida;
- e) conexiones de entrada y de salida del ventilador.

Al calcular la resistencia total del sistema se tendrá en cuenta la resistencia de los codos, de las piezas con que se adaptan entre sí los diversos elementos y de las juntas, y por último se restará del total la presión recuperada en las chimeneas de descarga abocinadas.

Al trazar el plan de instalación de la tubería de aspiración se debe tratar de facilitar las operaciones que posteriormente habrá que hacer para conservarla en buen estado, especialmente abriendo las adecuadas ventanillas de inspección y tomando precauciones para evitar la corrosión y la abrasión.

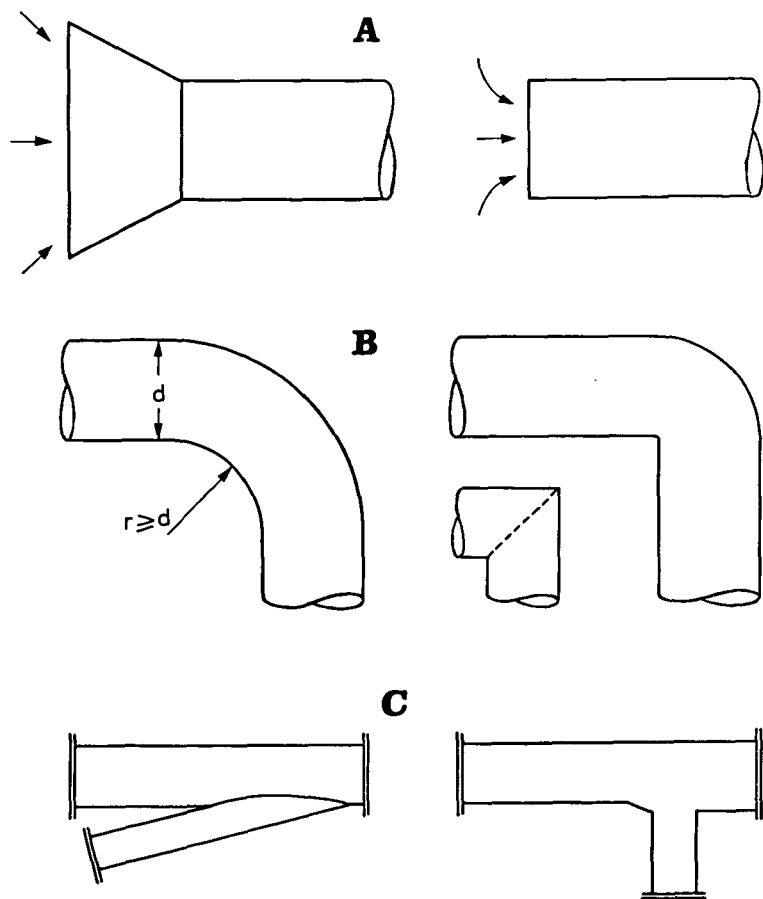


FIG. 96. — Elementos del sistema de conducción del aire de forma adecuada (a la izquierda) y de forma inadecuada (a la derecha).

A: Boca de entrada de un conducto. B: Codo. C: Empalme.

Las partículas finas (de menos de 10 micrones) pueden desgastar los conductos con gran rapidez, especialmente en los codos. Se ha tratado de evitar esto aumentando el espesor del metal en los lugares en que más se desgastan los conductos, revistiéndolos interiormente de caucho y utilizando codos aplanados que tienen chapas que se pueden cambiar. Un buen procedimiento es dejar que el aire entre por pequeñas ranuras abiertas en el lado exterior del conducto, con lo cual se crea un cojín amortiguador de aire libre de polvo en los puntos en que el desgaste puede ser mayor.

Captación del polvo

La lucha contra el polvo en las instalaciones de la superficie y en el fondo de las minas difieren entre sí en dos aspectos principales. En primer lugar, la cantidad de polvo que ha de ser captado y aspirado en las instalaciones de la superficie es mucho mayor que el que se suele encontrar en el fondo. El peso del polvo retenido por un sistema de captación de polvo de una instalación de superficie no se mide en miligramos, sino que puede llegar a ser de centenares de kilogramos por hora. En segundo lugar, el polvo captado en una instalación de superficie se puede descargar directamente en la atmósfera, donde se dispersará sin riesgo para nadie, por una chimenea alta, razón por la cual se puede permitir la descarga de aire con una concentración relativamente grande de partículas de polvo respirables y se pueden aceptar tipos de separadores no muy eficaces para la eliminación de estas partículas.

Tipos de instalaciones de captación de polvo

El equipo de captación de polvo que en cada caso convendrá dependerá de la cantidad, de la clase y del tamaño de las partículas que se han de eliminar y del grado de pureza del aire de salida que se desea obtener. Este grado de pureza dependerá a su vez de diversos factores, como la densidad de población de las proximidades de la instalación y las posibilidades que existan de que el

polvo que se descarga constituya un peligro para las personas que se hallen en las cercanías. Los tipos de instalaciones de captación de polvo existentes, con arreglo a los principios de funcionamiento, se pueden clasificar así:

- a) precipitación por gravedad: cámaras de sedimentación;
- b) precipitación centrífuga: ciclones (húmedos o secos);
- c) precipitación por inercia: aparatos de colisión (húmedos o secos);
- d) filtros: de tela o de otros materiales;
- e) precipitación electrostática.

En el capítulo V se expuso el principio en que se basa el funcionamiento de los ciclones y de los purificadores mecánicos centrífugos; ambos tipos de aparatos son muy adecuados para las necesidades que existen corrientemente en las instalaciones de preparación de minerales de la superficie de las minas. También se describieron varios tipos de filtros de tela cuya utilización en las instalaciones de superficie es más bien apropiada para ciertas operaciones especiales, y se dieron algunas indicaciones acerca del funcionamiento de los precipitadores electrostáticos. Pero en ese capítulo no se habló de los aparatos cuyo funcionamiento se basa en la fuerza de la gravedad o en la inercia. En los primeros (un ejemplo de los cuales es una simple cámara de sedimentación), el principio es el de que si el aire cargado de polvo tarda en pasar por una cámara el tiempo suficiente, las partículas caerán al fondo de la cámara, donde quedarán depositadas. El tamaño que tendría que tener la cámara de sedimentación para que las partículas de polvo más finas se depositasen en el fondo impediría en la práctica la utilización de una de estas cámaras, pero a menudo se las utiliza, en combinación con otros tipos de filtros, para eliminar las partículas gruesas.

Los aparatos cuyo principio de funcionamiento es la inercia, en los que el polvo se precipita como resultado de bruscos cambios de dirección del aire producidos por una o varias series de tabiques, se utilizan mucho en las instalaciones de preparación de minerales.

Su eficacia es la suficiente para la mayor parte de los usos y son fáciles de construir y de conservar en buenas condiciones; además, si se montan en ellos rociadores de agua a alta presión son fáciles de limpiar.

A causa de su elevado costo, sólo en casos excepcionales estará justificada la instalación de precipitadores electrostáticos. En cuanto a los filtros de tela, la gran cantidad de polvo existente en las instalaciones de superficie (que puede atascarlos rápidamente) y la posibilidad de descargar en la atmósfera las partículas finas harán que no se los utilice sino en los casos en que se recupera el polvo por su valor intrínseco o cuando el polvo es tóxico. No obstante, cuando el aire vuelve a circular por las instalaciones, esto es, cuando el aire filtrado pasa por lugares donde puede ser respirado por los trabajadores, se deberían utilizar filtros o precipitadores electrostáticos.

Los aparatos de los tres primeros tipos anteriormente descritos (los que funcionan por gravedad, por fuerza centrífuga o por inercia) no son eficaces para la captación de las partículas de polvo respirables, y las descargan en la atmósfera. Sin embargo, los ciclones y las distintas clases de purificadores húmedos tienen la ventaja de ser aparatos sencillos y muy fuertes y de ofrecer una resistencia relativamente débil a la corriente de aire, razón por la cual se los utiliza mucho en las plantas de beneficio y en muchas industrias. Cuando es muy grande la concentración de polvo conviene que la eliminación del mismo sea continua, para lo cual habría que instalar varios colectores húmedos, de los cuales el polvo se extrae luego en forma de barro. En estos aparatos sólo se debería utilizar agua limpia (entre 6 y 12 litros por cada 10 m³/min).

En la mayor parte de las instalaciones de preparación de minerales se prefieren las grandes instalaciones centrales de captación de polvo por medio de la humedad, aunque los sistemas no centrales, a pesar de su elevado costo, pueden tener la ventaja de la simplificación de la red de conductos.

Hasta ahora, los colectores de polvo más comúnmente utilizados en las instalaciones de preparación del carbón han sido los ciclones, pero en los últimos tiempos parece mostrarse mayor preferencia

por los colectores húmedos de tipo venturi y los purificadores mecánicos húmedos. La preocupación creciente por la contaminación de la atmósfera y la tendencia a instalar fábricas en zonas de gran densidad de población hacen aumentar las exigencias en cuanto a la eficacia de los sistemas de eliminación del polvo y están conduciendo a su rápido perfeccionamiento.

Por consiguiente, convendrá elegir aparatos de captación del polvo por medio de la humedad, ya se trate de purificadores mecánicos, ya de purificadores dinámicos a ventilador. Los purificadores mecánicos que expulsan automáticamente el barro son especialmente adecuados para las grandes instalaciones centrales y no presentan grandes problemas de funcionamiento, siempre y cuando se disponga de grandes cantidades de agua. En la mayor parte de los casos, el agua se puede descargar, junto con el barro, por uno de los conductos de agua de la instalación de preparación. Los ciclones exigen más atención, y se pueden atascar si entran en ellos partículas muy gruesas o materias extrañas, y hasta debido a la humedad.

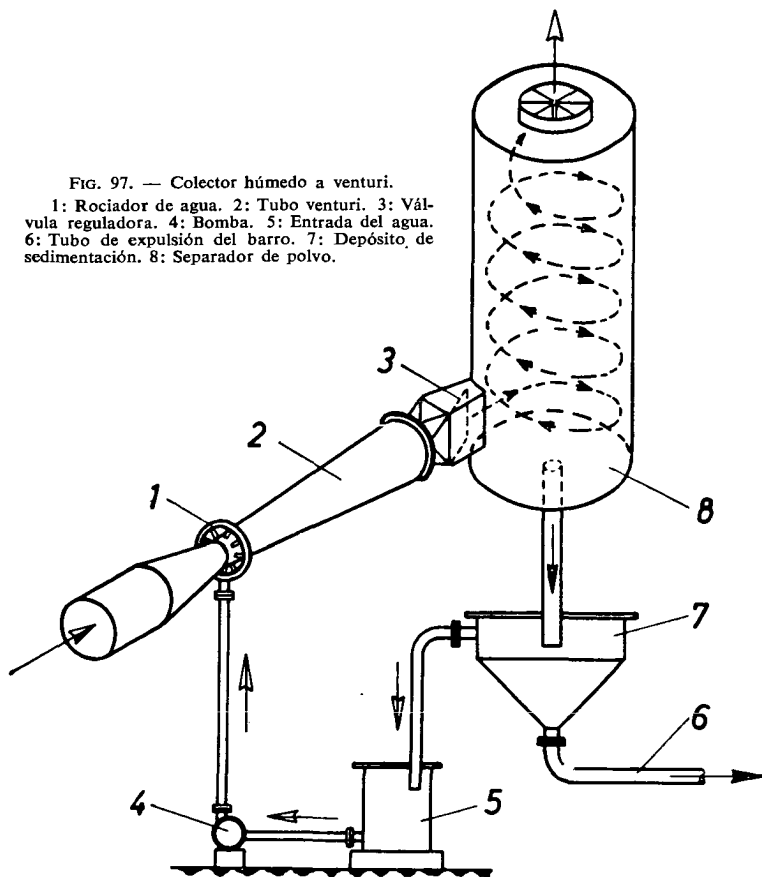
También cabe mencionar los colectores dinámicos secos, en que el polvo se precipita por la acción de las fuerzas dinámica y centrífuga que les comunica un ventilador cuyas muchas paletas tienen una forma especial. El polvo recogido pasa a una cámara de acumulación por un circuito también especial.

Algunos sistemas de captación del polvo son una combinación de aparatos de captación por medio de la humedad y de aparatos de captación en seco, es decir, que el aire pasa por ciclones o por una serie de tabiques de inercia y luego las partículas pasan por un baño de agua o por el chorro de varios rociadores, con lo cual se humedecen y se las puede eliminar. En estos aparatos, como en todos los modelos de purificadores mecánicos, los eliminadores, que generalmente consisten en tabiques en zigzag, son de gran importancia, no sólo para impedir que el aire filtrado se cargue de humedad, sino también para facilitar la captación de las partículas aún libres.

Otro tipo de purificador es el colector húmedo a venturi (véase la figura 97), muy utilizado en las pequeñas instalaciones. En este

FIG. 97. — Colector húmedo a venturi.

1: Rociador de agua. 2: Tubo venturi. 3: Válvula reguladora. 4: Bomba. 5: Entrada del agua. 6: Tubo de expulsión del barro. 7: Depósito de sedimentación. 8: Separador de polvo.



aparato, el agua es pulverizada en el interior del cono de succión situado frente al ciclón, dirigiéndose el chorro de agua a la parte más estrecha, perpendicularmente a la corriente de aire que entra cargada de polvo, a una presión que puede llegar a 2 kg/cm^2 . El

brusco cambio de dirección del chorro de agua proyectado a gran velocidad la convierte en neblina que humedece las partículas de polvo, las cuales se precipitan luego en el ciclón.

Finalmente, cabe señalar la existencia de otro aparato, el « rotoclone », en el cual el aire cargado de polvo es aspirado a través del agua (véase la lámina V).

Descarga del polvo

El sistema de descarga del polvo recogido y del aire aspirado dependerá mucho de las condiciones del lugar. En muchos casos, el barro o el polvo retenido por el colector pasarán nuevamente a la instalación de tratamiento de los minerales para ser reintroducidos en el circuito en el lugar apropiado; en otros casos se los eliminará de manera que el polvo no pueda volver a pasar al aire. Cuando hay que transportar el polvo a gran distancia se utiliza a veces un equipo de transporte neumático que reduce el riesgo de exposición. La descarga por chimeneas dependerá también de las condiciones del lugar y, además, de las disposiciones legislativas relativas a la contaminación de la atmósfera, de la política de recuperación de los productos, etc.

El polvo depositado

En las instalaciones de preparación, el movimiento del aire y las corrientes de convección no permiten captar por completo las partículas finas de polvo que se producen en los distintos lugares, de manera que no se puede evitar que a la larga se deposite cierta cantidad de polvo sobre las superficies planas, por ejemplo, debajo de los transportadores de correa. En muchos lugares se sigue barriendo este polvo con escobas, levantándolo así en molestas y peligrosas nubes, cuando se lo puede eliminar con un aspirador móvil del tipo industrial, provisto de filtros que retienen las partículas finas, o con extractores neumáticos fijos (véase la figura 98), o se le puede echar agua en cantidad para arrastrarlo hasta los sumideros.

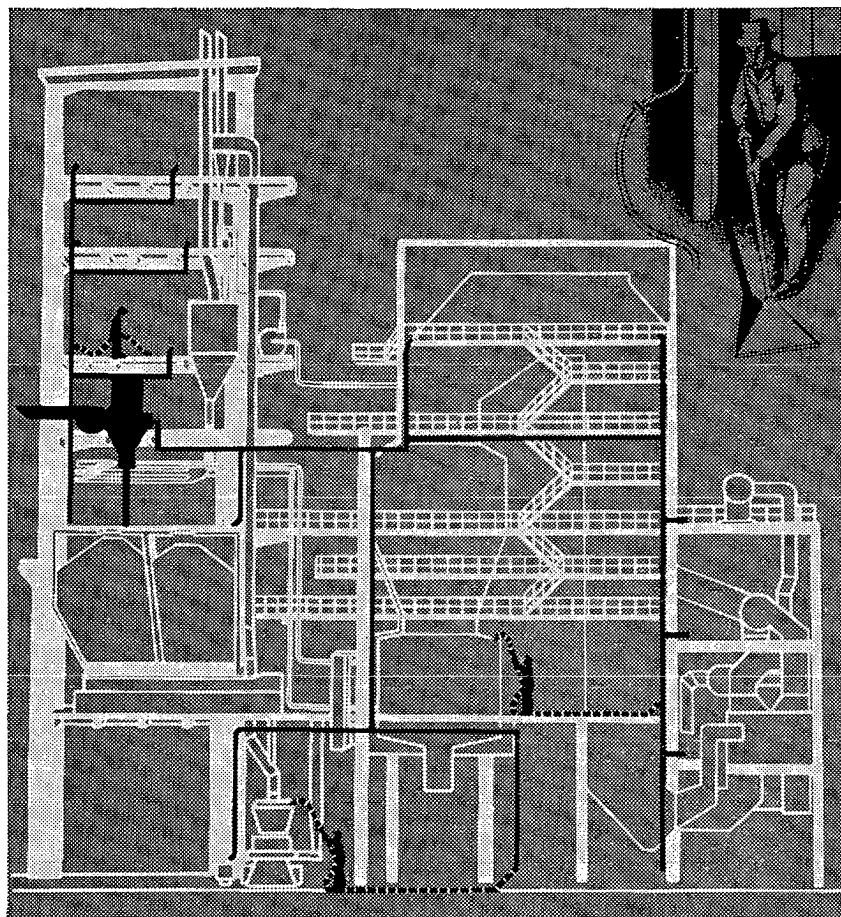


FIG. 98. — Esquema de una instalación fija de limpieza por aspiración, en el que se muestra cómo se utilizan los aspiradores.

INSTALACIONES PARA LA PREPARACIÓN DEL CARBÓN

Si bien hace muchos años que se ha reconocido el peligro que entraña el polvo que se produce en las labores subterráneas, se ha tendido a olvidar que el manejo y el tratamiento de los minerales en la superficie expone a un riesgo análogo y hasta a veces mayor, ya que en las instalaciones de la superficie trabajan a menudo jóvenes y mujeres, o bien trabajadores ocasionales a los que puede ser difícil mantener bajo control médico. Por lo tanto, se deben tomar medidas de supresión o captación del polvo en las instalaciones de que a continuación se hablará por separado.

Basculadores

Los basculadores que se suelen utilizar para vaciar las vagonetas levantan una gran cantidad de polvo, de manera que se los debe aislar todo lo posible. Como tienen que tener grandes aberturas de entrada y de salida, se necesita una cantidad de aire relativamente grande para arrastrar todo el polvo liberado. Además de una boca de aspiración lateral, abierta debajo del basculador, conviene que haya otra en la parte superior del mismo. De ser posible, las aberturas de entrada y de salida de las vagonetas se deberían cubrir con cortinas de caucho (véase la lámina VII).

Las bocas de aspiración deberían estar del lado opuesto a aquel por el cual se vuelca el mineral, para poder aspirar la mayor cantidad posible del polvo que se levanta cuando se vuelcan los basculadores.

Se ha comprobado que para suprimir más completamente el polvo que se desprende del material volcado conviene que cuando una vagoneta sale del basculador quede inmovilizada por un dispositivo automático que no la deje avanzar mientras la vagoneta siguiente no haya sido vaciada, tiempo durante el cual se la mantiene bajo una campana de aspiración por la que se extrae el polvo que de ella se desprende, con lo cual se reduce mucho la concentración de polvo en las cercanías del pozo.

Si después de haber sido volcado en el basculador el carbón pasa directamente a una tolva, debería llegar a ella por una chimenea cerrada con bocas de aspiración laterales que hay que evitar que el carbón obstruya. Las tolvas también deberían estar conectadas con el sistema de aspiración.

Si el carbón cae desde el basculador a un transportador de correa, éste debería estar aislado y el recinto conectado con el sistema de aspiración (véase la figura 99).

Cribones

Cuando los cribones están instalados directamente debajo de los basculadores, al volcar las vagonetas cae mucho carbón al suelo y se levanta mucho polvo. Si se encierran los cribones se puede mantener en ellos una presión más baja que en el exterior, pero si no se los encierra hay que ponerles campanas de aspiración adecuadas.

Los cribones de preclasificación deben estar encerrados y deben tener bocas de aspiración en cantidad proporcional a su superficie, o bien deben estar equipados con campanas de aspiración. La boca de descarga de la parte de abajo de los cribones debe estar igualmente conectada con el sistema de aspiración (véase la lámina VII).

Si los cribones están instalados debajo de la tolva para carbón bruto, tanto la tolva como los cribones deben estar conectados con el sistema de aspiración. La cantidad de aire necesaria para aspirar el polvo que levanta la caída del carbón dependerá de la cantidad de carbón que cae a la tolva. Las cribas sacudidoras crean una presión excesiva en los depósitos o en las tolvas de descarga que están debajo de ellas por el efecto de bombeo del movimiento de sacudimiento, y para contrarrestar este efecto y obtener una aspiración suficiente las conexiones de las tolvas o de los depósitos con el sistema de aspiración deben ser de mayores dimensiones que cuando se utilizan cribas vibratoras.

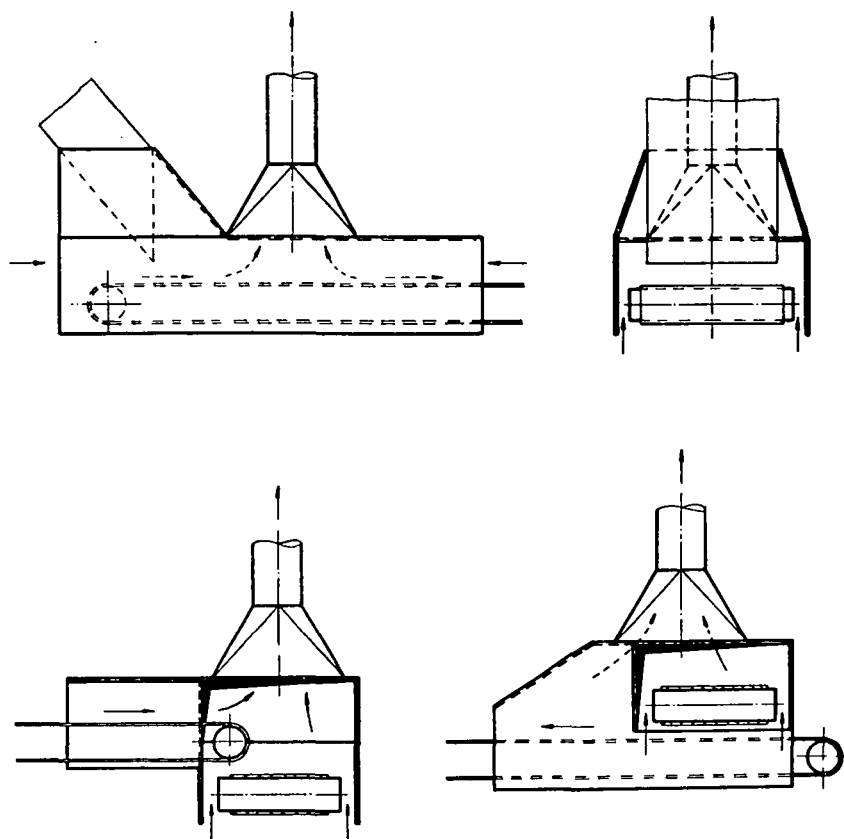


FIG. 99. — Estructuras de aislamiento y sistemas de aspiración del polvo en puntos de transbordo de transportadores de correa.

Correas clasificadoras y seleccionadoras

Conviene colocar las estructuras de aislamiento y las campanas de aspiración de las cribas sacudidoras de manera que permita eliminar también el polvo en el lugar de descarga sobre las correas seleccionadoras. En estas correas, el polvo que se levanta se debe principalmente a la caída de mixtos y de piedras en los depósitos colectores, y donde mejor se lo puede eliminar es en el punto de descarga de estos depósitos en las correas. También se produce una gran cantidad de polvo al tirar al suelo trozos de madera u otros desechos, lo cual puede agravar la situación a este respecto en los lugares vecinos, aun cuando el sistema de supresión del polvo sea en otros aspectos eficaz.

El punto de descarga de las correas seleccionadoras también debe estar convenientemente aislado y se deben abrir en el recinto de aislamiento bocas de aspiración.

Instalaciones de trituración

Cuando el carbón pasa a una instalación de trituración, en esta instalación debe también haber un sistema de captación del polvo. Si se utilizan trituradores de cilindros se necesitan una boca de aspiración a la entrada y otra a la salida. Si las trituradoras son de percusión sólo hay que captar el polvo en el punto de descarga de la trituradora, pero se debe cuidar de que las campanas de aspiración instaladas sean suficientemente amplias para que no se capte una cantidad excesiva de material grueso.

Equipo de transporte

Es importante suprimir el polvo que se produce en el equipo de transporte que lleva los productos de una máquina a otra o de un sector a otro de las instalaciones de preparación de minerales, y especialmente el producido por los transportadores de todo tipo y por los elevadores de cubetas, el que se desprende en las chime-

neas, etc. Los elevadores de cubetas deberían estar aislados y conectados con el sistema de aspiración en el punto de carga y en el de descarga.

Transportadores

En los transportadores se deberían instalar campanas de aspiración en todos los puntos de descarga y de transbordo. Los productos transportados se deberían descargar de manera que el ángulo y la altura de caída faciliten la captación del polvo. La eliminación de la gran cantidad de polvo que se levanta cuando los productos pasan de un transportador de correa a otros medios de transporte que están a un nivel inferior es más difícil. Por regla general, estos puntos de transbordo deberían estar completamente aislados y conectados con el sistema de aspiración (véase la figura 99).

En los puntos de transbordo de una correa a otra conviene más captar el polvo en el extremo terminal de la primera correa que en el punto en que empieza la segunda. En la figura 99 se podrá ver que la campana de aspiración está instalada sobre la estructura de aislamiento en el punto de descarga en la dirección de la marcha de la correa. La campana debe estar a suficiente distancia de los productos que caen para que una parte del polvo se pueda depositar en el recinto de aislamiento antes de ser arrastrado al exterior por la correa. En todos los puntos de transbordo se deberían instalar cortinas de caucho flexibles, ya que dada la altura variable de la carga de los transportadores la estructura de aislamiento no puede estar muy ajustada sobre la correa. Estas cortinas se pueden fabricar en la mina misma con bandas de caucho viejas (véase la lámina VII).

Tolvas y depósitos

En las tolvas y los depósitos se puede producir una gran cantidad de polvo, y deberían estar aislados y bajo aspiración. Las bocas de aspiración deberían estar en la parte superior del depósito

o cerca de ella. La cantidad de aire que habrá que extraer de un depósito o de una tolva cerrados dependerá de la cantidad de aire desplazada por la caída de los productos en ellos descargados, para lo cual se debe prever un volumen de aire hasta diez veces superior al del material, según las circunstancias.

En algunas instalaciones es necesario colocar depósitos para el carbón bruto entre los cribones y el lavadero, para poder regular la llegada de carbón a este último. Los orificios en que descargan los productos las correas de los transportadores deben estar conectados con el sistema de aspiración.

Por regla general, los dispositivos de carga de los depósitos deberían estar aislados. Es preferible que la boca de aspiración esté en la parte superior del depósito, porque de esta manera sólo serán aspiradas las nubes de polvo, y no el aire que el carbón mueve en su caída.

Cuando se utilizan skips se puede reducir la cantidad de polvo instalando en el depósito en que se descargan los skips una cámara de sedimentación que retenga el aire desplazado por la caída del material y evite que el polvo se disperse. La primera boca de aspiración para captar el polvo debería estar en la abertura de descarga del depósito. El transportador de correa que lleva el carbón descargado debería estar completamente aislado.

PLANTAS DE BENEFICIO DE MINERALES

Las plantas de beneficio de minerales están generalmente divididas en dos secciones: la sección de trituración y la sección de tratamiento. La sección de trituración puede estar en el mismo edificio que el resto de la instalación de beneficio o a su lado, o bien puede estar al lado del pozo principal de extracción, a cierta distancia del resto de la instalación. En algunos casos, la trituración del mineral se hace en el fondo de la mina (véase el capítulo XIV).

Si bien la trituración y el transporte del mineral bruto son operaciones que exponen a un riesgo especialmente grande debido

al polvo que en ellas se produce, ninguna de las operaciones que se realizan en una moderna planta de beneficio se puede considerar exenta de peligro desde este punto de vista. La separación del mineral pesado de la ganga más ligera (en la cual se utilizan diferentes tipos de separadoras) se hace por lavado, por flotación, por gravedad o por otros métodos que entrañan poco riesgo, ya que en todos ellos se utiliza agua. Las operaciones de fundición (calcificación, tratamiento en los hornos, refinado y tratamiento de los subproductos) entrañan mayor o menor riesgo según la naturaleza de los minerales. También hay que manejar y almacenar con muchas precauciones las materias que se utilizan en las operaciones de tratamiento de los minerales, como la cal, el manganeso y los fundentes y otros aditivos.

Manejo y transporte de los minerales

En la mayor parte de los casos el mineral bruto se descarga directamente en grandes depósitos, de los cuales se lo transporta a la instalación primaria de trituración en vagones, en cubetas suspendidas de cables, en transportadores de correa o en camiones diesel. En el punto de descarga, ya se trate de un basculador, del extremo de carga de un transportador de correa o de una chimenea que alimenta directamente el depósito, se produce siempre polvo, y si el mineral llega muy seco se deben instalar rociadores en ese lugar. Según las circunstancias, habrá que aislar los basculadores o las chimeneas y que instalar en ellos un sistema de aspiración del polvo, igual que en las instalaciones de preparación del carbón.

Instalaciones de trituración de minerales

Las instalaciones de trituración corrientes, ya estén cerca del pozo o en la planta de beneficio, consisten, en primer lugar, en trituradoras de mandíbulas o giratorias, y en trituradoras giratorias o de conos para la fase intermedia. Antiguamente se utiliza-

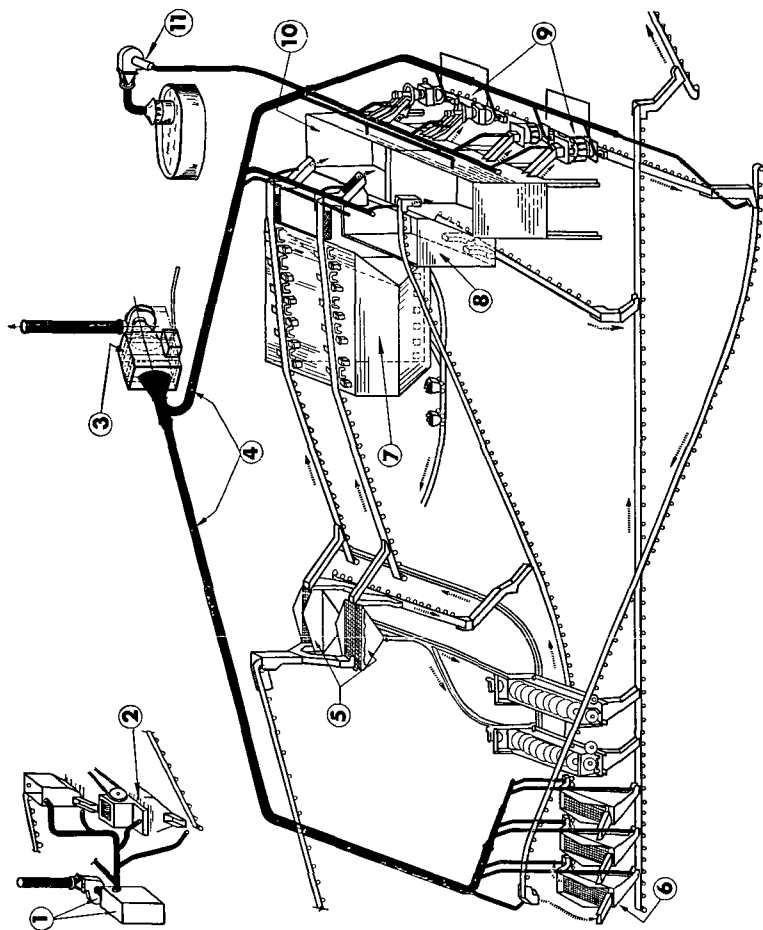


FIG. 100. — Sistema de captación del polvo en una instalación de trituración de minerales.

1: Ventilador y colector húmedo de polvo. 2: Trituradora primaria. 3: Ventilador principal con colector húmedo de polvo o con ciclón. 4: Conductos de ventilación de las distintas secciones de la instalación. 5: Cribones primarios. 6: Cribones secundarios. 7: Tolva de descarga de los desechos previa clasificación. 8: Tolva de descarga de guijarros. 9: Trituradoras intermedias y para finos. 10: Depósitos de alimentación de las trituradoras. 11: Ventilador auxiliar de aspiración.

Las flechas de trazos indican la dirección en que circulan los productos.

ban mucho como trituradoras intermedias los bocartes de caída libre, y muchos de estos bocartes se siguen utilizando aún hoy.

Las trituradoras primarias deberían estar lo más aisladas posible del exterior, tanto en el punto de alimentación como en el de descarga, y provistas de bocas de aspiración. Sobre el punto de alimentación de la trituradora es conveniente instalar también rociadores de agua, ya que los trozos gruesos de mineral se acumulan por regla general en un depósito donde pueden secarse. El aislamiento de las trituradoras giratorias no presenta grandes dificultades; estas trituradoras deberían también estar provistas de bocas de aspiración, tanto en la parte superior como en la inferior. En la figura 100 se muestra en forma esquemática una instalación de trituración típica con un sistema de aspiración apropiado.

Para la trituración más fina se emplean trituradoras de bolas, tubulares o de barras. Como quiera que en este procedimiento se emplea el agua y además las máquinas están completamente aisladas, apenas pasa polvo a la atmósfera, aparte del que pueda deberse a la caída accidental de los productos, que se debería evitar.

Transportadores de correa

La utilización de rociadores en los puntos de transbordo de los transportadores de correa crea ciertas dificultades, ya que el exceso de humedad puede dañar tanto a los transportadores mismos como a los cribones en que se descarga el mineral. Los rociadores deben estar cuidadosamente regulados teniendo en cuenta las condiciones reinantes, y si es necesario se los debe aislar y se debe instalar en ellos un sistema de aspiración eficaz. Las bocas de aspiración deberían estar cerca del extremo de descarga de la estructura de aislamiento, para aprovechar, de ser posible, el movimiento natural del aire provocado por la caída de los productos (véase la figura 101). Al igual que en las instalaciones de preparación del carbón, la altura de caída de una correa a otra debería ser la menor posible, y además se deberían instalar cortinas flexibles para reducir el tamaño de las aberturas necesarias.

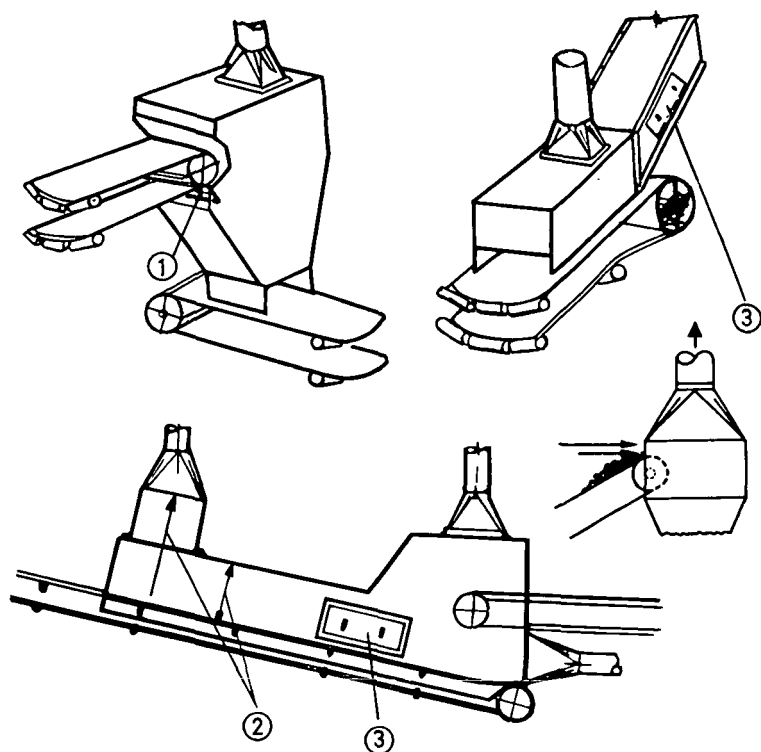


FIG. 101. — Campanas de aspiración instaladas sobre transportadores de correa.

1: Raspador de la correa. 2: Altura suficiente para evitar la aspiración de los productos.
3: Puertas de observación.

Depósitos y tolvas

Las observaciones que se han hecho respecto de las tolvas y de los depósitos que se utilizan en las instalaciones de preparación del carbón son igualmente aplicables a los depósitos y las tolvas de las instalaciones de superficie de las minas de metal.

Cribones

Los cribones vibratorios se utilizan muy corrientemente en las modernas instalaciones de trituración. También en este caso la producción de polvo dependerá de la cantidad de agua que con-

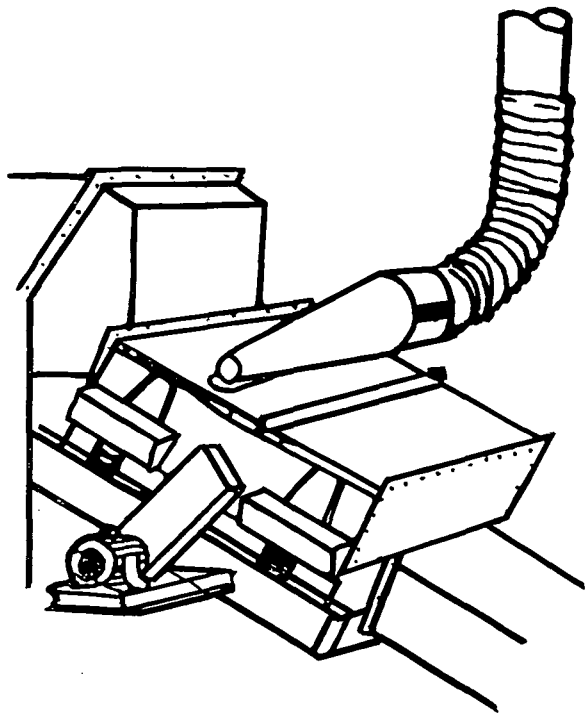


FIG. 102. — Dispositivo de aspiración para cribones.

tenga el mineral, pero casi siempre convendrá aislar el punto de descarga y abrir bocas de aspiración tanto en el punto de alimentación como en el punto de descarga. Si con esto no se suprimiese el polvo en forma satisfactoria se deberían instalar campanas de

aspiración. Conviene dar unos 15 m³/min de aire por cada metro cuadrado de superficie del cribón. La conexión con el sistema de aspiración se debería hacer por medio de un tubo flexible con una abrazadera de aflojamiento rápido (véase la figura 102).

Se puede reducir considerablemente la producción de polvo en muchos cribones acortando la altura desde la cual caen los productos a la tolva receptora.

Correas clasificadoras y seleccionadoras

En las instalaciones donde hay una sección de clasificación y selección, lo que más conviene es aislarla lo mejor posible e instalar un sistema de ventilación auxiliar por aspiración de manera que todo el polvo producido sea arrastrado lejos de los trabajadores y dirigido hacia los depósitos de clasificación por las chimeneas descendentes.

Como al sacar el material de desecho de los depósitos de clasificación se lo suele hacer al aire libre, en la mayor parte de los casos la operación no entraña ningún peligro, ya que el polvo producido se dispersa. Sin embargo, en ciertos casos puede ser necesario instalar un sistema de aspiración.

Filtros de tambores rotativos

Los filtros de tambores rotativos, en la fase de expulsión, lanzan algunas veces polvo al aire, y aunque generalmente esa cantidad de polvo no constituye un peligro, causa molestias, que aumentan debido a la condensación cuando se está manejando producto molido caliente. Se puede dispersar este polvo instalando un sistema de ventilación descendente. Si las muestras recogidas indican que la concentración de polvo es peligrosa será necesario instalar un sistema de aspiración.

Instalaciones de fundición

En las instalaciones de fundición y en las de afino se puede producir polvo, por ejemplo, durante el manejo de materiales

calcinados. Conviene instalar campanas de aspiración con sistemas de filtración aparte; además, cuando se manejan productos valiosos, tales como el polvo aurífero, se pueden utilizar filtros de bolsa de los cuales se los puede recuperar.

Otras operaciones en que se produce polvo

Entre las operaciones secundarias, pero que tienen importancia desde el punto de vista de la producción de polvo, están las de llenar y vaciar sacos o bolsas. Si se manejan frecuentemente materiales pulverulentos en sacos o bolsas habrá que instalar una estructura de aislamiento o una campana de aspiración. La reparación de los sacos que han contenido materiales pulverulentos o la forma en que de ellos se disponga deben también ser controladas para evitar la producción de polvo, y si es necesario se deberán tomar medidas de supresión del polvo análogas a las anteriormente indicadas.

La mezcla de productos muy triturados, ya se realice a mano o mecánicamente, exigirá también la instalación de un sistema de ventilación aspirante y de una campana o una estructura de aislamiento adecuada.

LABORATORIOS DE ENSAYO

En los laboratorios de ensayo se reciben y clasifican las muestras de mineral o de carbón, se las tritura o se las pulveriza y se analizan los productos. Las máquinas trituradoras de mandíbulas y los pulverizadores de discos que se utilizan en estos laboratorios pueden producir una gran cantidad de polvo. El mineral triturado debe ser pesado, cuarteado y mezclado con fundentes, operaciones éstas en que también se puede producir polvo.

Las trituradoras, ya sean de troceado fino o grueso, deberían estar conectadas con un sistema de aspiración que pueda arrastrar todo el polvo que haya pasado al aire. Este sistema debería estar conectado con una pequeña instalación de filtración que debería descargar al aire libre. Al instalar el sistema de aspiración del aire

procedente de las trituradoras hay que cuidar de que no produzca efectos perjudiciales en las muestras por extracción de una cantidad excesiva de polvo o por contaminación con una clase de polvo diferente. Las trituradoras se pueden limpiar por medio de una lanza de aire comprimido, pero esta lanza debería tener un dispositivo que impida dar entrada al aire comprimido si no está funcionando el sistema de aspiración instalado en la trituradora.

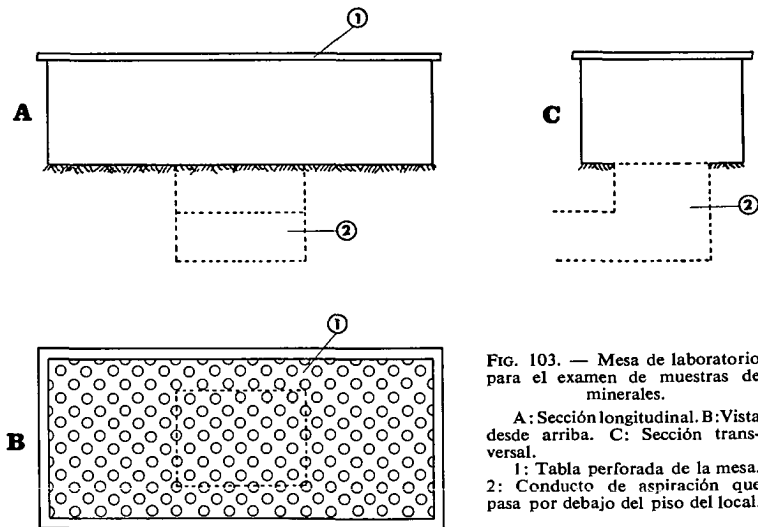


FIG. 103. — Mesa de laboratorio para el examen de muestras de minerales.

A: Sección longitudinal. B: Vista desde arriba. C: Sección transversal.

1: Tabla perforada de la mesa.
2: Conducto de aspiración que pasa por debajo del piso del local.

La ventilación general del local donde están situadas las trituradoras debe ser adecuada.

Todas las mesas y lugares de trabajo similares donde se manejan muestras de productos triturados deberían estar provistos de campanas o de otros sistemas de aspiración. En lugar de estructuras de aislamiento o de campanas de aspiración se puede utilizar una mesa de trabajo de superficie perforada a través de la cual se aspira el aire, que es arrastrado a un conducto instalado debajo (véase la figura 103).

TALLERES

En las grandes minas existen diversos talleres en los que se efectúan trabajos en que se puede producir polvo, como la reparación de las trituradoras tubulares, la limpieza y la reparación de los motores eléctricos, trabajos de soldadura, afilado de barrenas, reparación de camiones, forja y calderería. También en este caso son generalmente aplicables las observaciones hechas anteriormente respecto de la limpieza, el trazado y la conservación de los edificios, la utilización del agua, la ventilación aspirante y el aislamiento de las instalaciones.

Talleres de afilado de barrenas

Antiguamente, en los talleres de afilado de las grandes minas la actividad era muy grande, ya que cada día pasaban por ellos millares de barrenas. Además del transporte diario de esas barrenas desde la mina hasta el taller y desde éste hasta la mina, había que examinarlas y limpiarlas, forjarlas, fresarlas en caliente y darles temple. Se reducía la cantidad de polvo que las barrenas desprendían introduciéndolas en agua o en aceite antes de empezar a trabajar en ellas; además, se instalaba un sistema de ventilación aspirante en las distintas máquinas utilizadas y se ventilaban adecuadamente los talleres.

La introducción de brocas desmontables ha reducido la cantidad de acero que se maneja en estos talleres, y la elaboración de metales particularmente duros con los que ahora se fabrican puntas fijas insertadas en la broca ha hecho innecesario el tratamiento en caliente, porque estas puntas de metal duro se afilan en frío con muelas abrasivas.

Todas las piezas traídas de la mina deben ser lavadas, o se les debe quitar el polvo de alguna otra manera antes de empezar a afilarlas. Las muelas de esmeril o abrasivas y las fresadoras deberían estar perfectamente aisladas y provistas de un sistema de aspiración que asegure una velocidad de entrada del aire de 100

a 120 m/min. Todas las máquinas de este tipo que no puedan ser aisladas deberían estar provistas de una campana de aspiración (véase la figura 104).

Además de la ventilación aspirante, los talleres deben tener una buena ventilación general.

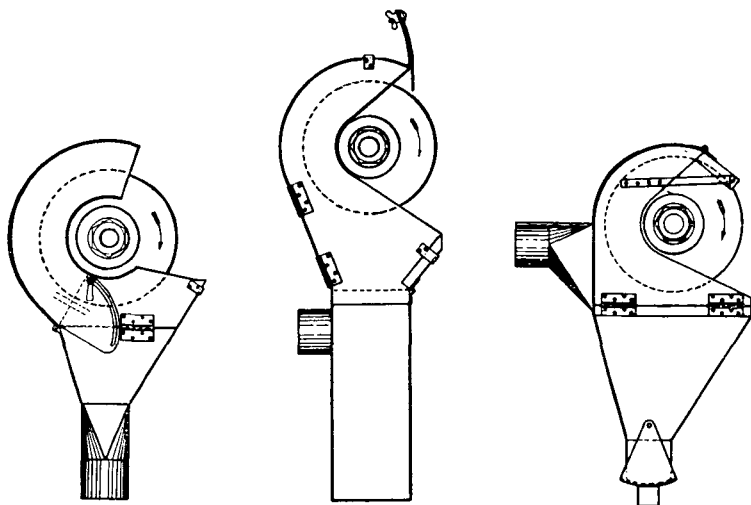


FIG. 104. — Campanas de aspiración para muelas abrasivas.

Talleres de forja y de construcción de calderas

Los trabajos que se hacen en los talleres de forja y de construcción de calderas son muy diferentes, según la clase de mina, su tamaño y su situación. También en estos talleres se deben tomar precauciones contra el polvo cuando se efectúan trabajos con material que viene de la mina. Antes de reparar el material se lo debe limpiar cuidadosamente y se le deben quitar el orín y las incrustaciones. De ser posible, estas operaciones se deben efectuar al aire libre; en caso contrario se debe evitar la dispersión del polvo en el

interior del taller, para lo cual puede convenir en muchos casos instalar un filtro móvil como el que se describirá más adelante, al hablar de la captación del polvo en los motores eléctricos.

Talleres de soldadura

Las personas que trabajan en los talleres de soldadura deberían estar protegidas contra los humos que producen estas operaciones (véase la figura 105).

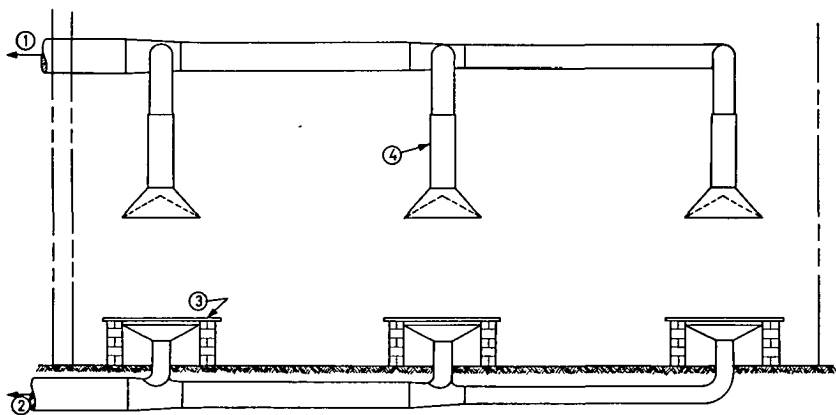


FIG. 105. — Sistema de ventilación por aspiración de un taller de soldadura.

1 y 2: Conductos de aspiración. 3: Mesas de trabajo. 4: Tubos telescópicos que sostienen las campanas.

Una de las principales dificultades con que se tropieza para instalar en estos talleres un sistema de ventilación aspirante adecuado es que en ellos se manejan piezas de todas formas y tamaños y de muy distintos materiales. La mayor parte de los trabajos menudos se realizan en mesas de soldar, sobre las cuales se deberían instalar campanas móviles o dispositivos de aspiración unidos al sistema general de aspiración por tubos flexibles, si bien es de

observar que se han obtenido muy buenos resultados con mesas perforadas provistas de un conducto de extracción en su parte inferior. Cuando se sueldan piezas de cierto tamaño o de mayor complicación se pueden utilizar conductos de aspiración flexibles que se puedan extender hasta el suelo (véase la figura 106).

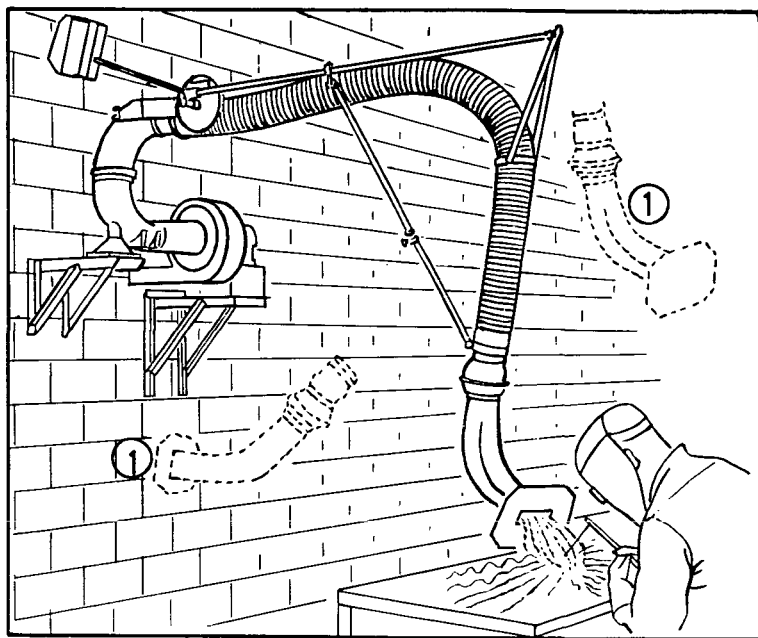


FIG. 106. — Aspiración de los humos que se producen en las operaciones de soldadura por arco eléctrico por medio de una boca de aspiración móvil.

1: Posibles posiciones del tubo de aspiración.

Talleres de electricidad

Los motores y demás aparatos eléctricos que se utilizan en el fondo de las minas plantean un serio problema cuando hay que

limpiarlos o que desmontarlos, por la gran cantidad de polvo que se acumula en las bobinas. Es muy corriente tratar de quitarles este polvo valiéndose de una lanza de aire comprimido manejada a mano, lo cual, como es lógico, levanta mucho polvo. Para evitar la contaminación del aire se puede colocar el aparato en una cámara cerrada provista de un dispositivo de aspiración; además, el trabajador que efectúa la operación debe ponerse una máscara protectora. Un método más eficaz consiste en aislar el aparato en

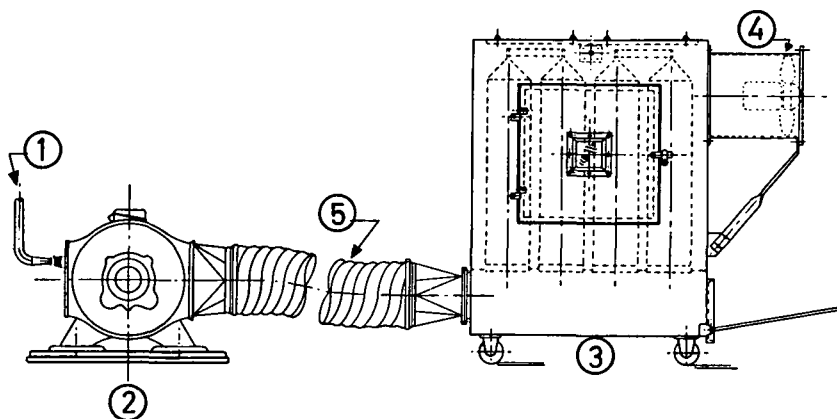


FIG. 107. — Captación del polvo en los motores eléctricos.

1: Entrada del aire comprimido. 2: Motor que se ha de limpiar. 3: Filtro móvil. 4: Ventilador. 5: Conducto flexible.

una campana plegable que tenga orificios que permitan introducir la lanza de aire comprimido y que esté conectada con un ventilador y con un filtro para polvo. Hay algunos tipos de motores eléctricos perfectamente cerrados que se pueden conectar directamente con el sistema de aspiración.

Para limpiar los motores instalados en la superficie también se necesita una campana de aspiración, para evitar que se desprenda en los talleres una gran cantidad de polvo. Este sistema

también se puede utilizar, con algunas variantes, cuando hay que desmontar *in situ* los motores instalados en el fondo o en la superficie de las minas. Es de observar que de un motor de mediano tamaño se puede sacar así hasta un kilo y medio de polvo.

El filtro utilizado en el aparato de captación de polvo que se ve en la figura 107 es del tipo de filtros de bolsas de franela. Debajo de las bolsas hay una cámara de acumulación del polvo, y el aparato tiene un mecanismo especial que sacude las bolsas para hacer caer el polvo una vez terminada la operación. Toda la instalación, con su ventilador que debería lanzar entre 60 y 90 m³/min de aire a una presión de 15 a 18 cm de columna de agua, puede estar montada sobre ruedas.

Reparación de las trituradoras tubulares

Una operación en que se puede formar gran cantidad de polvo es el revestimiento periódico de los molinos trituradores tubulares, que en algunos casos se puede realizar cada cinco o seis semanas. Los mecánicos tienen que trabajar en el interior de la trituradora, y como se trata de un espacio cerrado y sin ventilación se puede concentrar en él una gran cantidad de polvo.

Para combatir este polvo se deberían mantener húmedas todas las superficies durante la operación. Además, convendría utilizar un pequeño ventilador del tipo venturi o de cualquier otro tipo, que conectado con la trituradora mediante un tubo flexible permitirá mantener en toda la zona de trabajo una corriente continua de aire.

VESTUARIOS Y DEPÓSITOS DE LÁMPARAS

Las ropas húmedas de los mineros que se secan en los vestuarios pueden soltar mucho polvo. Si se deja que este polvo se acumule sobre el suelo y sobre las demás superficies del local se puede levantar con el ir y venir de los trabajadores y quedar en suspensión en el aire. De la misma manera, la colocación en sus soportes de un gran número de lámparas eléctricas, y sobre todo las operaciones

de limpieza de estas lámparas con aire comprimido, pueden levantar polvo.

En los vestuarios y en los depósitos de lámparas se puede evitar el peligro del polvo si se mantienen los locales bien ventilados y limpios y se los lava frecuentemente con grandes cantidades de agua.

CANTERAS

En las instalaciones de preparación de las canteras se puede producir polvo en las siguientes operaciones:

- a) fragmentación de la roca a mano o con instrumentos neumáticos;
- b) trituración, cribado y apartado mecánicos;
- c) desbaste a mano o con instrumentos neumáticos;
- d) desbaste a máquina;
- e) carga y transporte.

Fragmentación de la roca

Uno de los procedimientos que se utilizan para fragmentar los grandes bloques de roca o de piedra es el de perforar primeramente en ellos una serie de agujeros o de ranuras. Al efectuar estas operaciones se desprende una gran cantidad de polvo, y aunque los trabajadores se hallen a cierta distancia los unos de los otros, las nubes de polvo producidas por las diversas perforadoras se pueden reunir y formar densas concentraciones. Se puede evitar en cierta medida que el polvo se esparza si se instalan en los martillos perforadores discos planos o cóncavos que desvían lateralmente o hacia atrás el aire comprimido que escapa de los martillos y que levanta polvo.

También se puede instalar en las perforadoras de ranuras una caperuza de aspiración, con una pieza cilíndrica corrediza en la parte delantera que el trabajador que maneja la perforadora puede

levantar con la mano para observar la ranura sin necesidad de retirar la perforadora.

Se puede reducir la cantidad de polvo que se produce cuando se fragmentan grandes bloques de roca si se lo hace taladrándolos e introduciendo cuñas, y no abriendo ranuras. Por este procedimiento se ahorra tiempo, y el trabajador se puede mantener apartado del polvo (lo cual no puede hacer cuando abre ranuras en el bloque) y puede usar equipo de protección individual.

Trituración, cribado y apartado mecánicos

Por regla general, las máquinas trituradoras deben estar aisladas y provistas cada una de ellas de una instalación de extracción del polvo. En las aberturas de alimentación de las máquinas se debería hacer la aspiración en la dirección en que avanza el material. Si la estructura de aislamiento de las trituradoras está bien concebida no tiene por qué dificultar las operaciones, especialmente el cambio de cribas. Por lo común, para la aspiración y la precipitación del polvo en una instalación de trituración se necesitará una corriente de aire de entre 600 y 1.000 m³/min, con una potencia no mayor de 50 CV. Sólo los trabajadores que cargan la trituradora se hallan expuestos a un riesgo coniótico permanente, ya que el resto de la instalación no requiere una vigilancia constante. A estos trabajadores se los puede proteger convenientemente del polvo haciendo que el aire circule libre y regularmente por su lugar de trabajo, cuidando de que las aberturas de carga de las máquinas no dejen escapar polvo e instalando un sistema de aspiración mecánico.

Las personas encargadas de las operaciones de conservación de las máquinas y de engrasarlas pasan tan poco tiempo en la atmósfera polvorienta de las instalaciones que parecería bastar con que utilizasen máscaras de filtro mientras están efectuando esta clase de trabajos.

Los rociamientos que se suelen hacer cuando se trabaja con trituradoras de mandíbulas tienen el inconveniente de que el polvo adherido a la roca y liberado durante la trituración no siempre es

eliminado, sino que se puede aglutinar y pasar en esa forma a la fase siguiente del proceso de preparación, en la cual se puede desprender y quedar en suspensión en el aire.

Talla a mano o con instrumentos neumáticos

Las operaciones de talla a mano son las siguientes: cincelado, cuarteo, rectificación y desbaste.

Se ha comprobado que conviene suministrar a los canteros casetas espaciosas y transportables, bien aireadas, cuyo transporte se puede facilitar si se las hace desmontables y fáciles de montar de nuevo. El transporte de las piedras se puede facilitar también instalando puertas corredizas en cada extremo de la caseta, puertas que si hace buen tiempo pueden permanecer abiertas mientras se está trabajando. Si es necesario, el trabajador puede utilizar una mascarilla de respiración.

En las cámaras de corte de pizarra para techar, los trabajadores deberían trabajar de pie, y no sentados como a veces hacen, para que haya menos posibilidades de que inhalen polvo. De ser posible, el transporte a mano de las pizarras, en el cual se produce mucho polvo, se debe substituir por el transporte mecánico.

Talla a máquina

Si la piedra es aserrada, fresada o trabajada a máquina de alguna otra manera bajo un riego continuo de agua apenas pasará polvo al aire, pero en algunos casos puede ser conveniente eliminar la neblina que se produce en estas operaciones.

En cambio, cuando el fresado se efectúa en seco se produce gran cantidad de polvo grueso y fino, que se puede eliminar mediante un dispositivo de aspiración instalado enfrente de la fresadora. Del mismo modo, cuando se taladra la piedra, se la cantea o se la rectifica y cuando se tornean muelas abrasivas de arenisca se puede instalar una campana de aspiración cerca del lugar de trabajo.

En el caso de las sierras mecánicas para piedra se puede reducir al mínimo la exposición del personal al polvo:

a) recogiendo la neblina de polvo y agua proyectada en una cámara de aspiración cerrada por los lados y por la parte superior;

b) eliminando rápidamente esa neblina mediante un chorro de aire que la lanza, a través de una abertura que hay en la pared de la cámara, al aire libre o a un conducto de aspiración;

c) instalando el puesto de control de la sierra a una distancia de 1,5 o 2 metros, por lo menos, de la hoja de la sierra;

d) cuando por razones de espacio haya que instalar tabiques de desviación, cuidando de situarlos a una distancia de 3 metros, por lo menos, de la hoja de la sierra y manteniendo en el local una corriente de aire en la dirección de avance de la máquina, debiendo tenerse presente que las campanas de aspiración instaladas sobre la hoja de la sierra sólo serán verdaderamente eficaces si entre la piedra que se está trabajando y el borde de la campana hay menos de 1 cm de distancia.

Un dispositivo que ha dado buenos resultados con una sierra de hoja de diamante con una velocidad periférica de 40 m/s es una cortina cuadrada de 4,2 metros de lado, hecha de cloruro de polivinilo transparente, que se baja cuando se pone en funcionamiento la sierra. La neblina que se proyecta bajo la cortina arrastra el polvo a una cámara de precipitación.

El piso de los talleres donde se trabaja la piedra debería ser liso e impermeable, recubierto, por ejemplo, de baldosas o de cemento, de los cuales se pueden sacar el polvo y los pequeños trozos de material echando una buena cantidad de agua. También puede ser de rejilla, a través de la cual caigan los desechos.

En algunos casos, las máquinas desbastadoras y otras máquinas análogas que producen gran cantidad de polvo se podrán montar al aire libre o lejos del resto de la instalación. Estas máquinas pueden estar provistas de dispositivos de mando especiales que permitan a los trabajadores manejarlas desde cualquiera de sus lados y mantenerse alejados de las nubes de polvo.

Carga y transporte

En las operaciones de carga y transporte entrañan un riesgo por lo que atañe al polvo los montacargas, las instalaciones de ensacado y los puntos de transbordo y de descarga.

El transporte de piedra triturada se efectúa a menudo en montacargas inclinados, que tienen algunas ventajas que no tienen los montacargas verticales, pero que no pueden ser aislados.

Las instalaciones donde se ensaca material triturado que contiene sílice deberían estar lo mejor aisladas posible y provistas de equipo de aspiración del polvo. Para evitar la caída de material al suelo se puede controlar automáticamente el relleno de los sacos, por ejemplo, mediante un indicador de nivel.

Cuando se maneja cuarzo triturado en grandes cantidades se lo puede cargar automáticamente en los vagones especiales, colocando estos vagones debajo de las tolvas, o bien en los barcos tanques, evitando de este modo el manejo de sacos llenos de ese material pulverulento.

También se puede cargar material pulverulento en vehículos utilizando para ello chimeneas o conductos bien aislados y aspirando el polvo que se desprende en ellos.

INSPECCIÓN

Pese a todas las precauciones que se tomen en las instalaciones de superficie siempre podrá haber peligrosas concentraciones de polvo en uno u otro lugar. En estas instalaciones, igual que en todas partes, se puede contrarrestar este peligro mediante una inspección sistemática y con los oportunos muestreos.

Estas medidas permitirán asegurarse de que todos los aparatos de aglomeración del polvo y los sistemas de ventilación funcionan bien, señalar a la atención de los interesados toda concentración de polvo que pueda ser dañina y tomar las adecuadas disposiciones para suprimir las que haber pueda. Además, el hecho de que se efectúen muestreos periódicos hará que los propios trabajadores se den cuenta de que también existe un peligro en la superficie,

como existe en el fondo, y será más probable que utilicen como es debido los dispositivos de protección, que tomen todas las precauciones prescritas y, en general, que hagan todo lo posible por evitar que se produzca demasiado polvo.

CAPÍTULO XIII

PERFORACIÓN DE TÚNELES

Mucho de lo que se ha dicho en los capítulos anteriores a propósito de la supresión del polvo se puede decir también de las operaciones de perforación de túneles y de galerías. El polvo de roca que se desprende en estas operaciones es muy semejante al que se produce en las operaciones mineras; los principales medios para combatir el polvo son los mismos: el aire y el agua; los elementos con que se aplican estos medios también suelen ser los mismos: sistemas de ventilación, rociadores, proyectores de neblina, etc.; por último, algunas de las operaciones ejecutadas son asimismo operaciones que se efectúan en las minas: operaciones de perforación, de voladura y de transporte, por ejemplo. Por lo tanto, en este capítulo sólo se hablará de los aspectos de la prevención y de la supresión del polvo en las operaciones de perforación de túneles y galerías que tienen características propias o que por cualquier otra razón requieren un examen especial.

Los grandes proyectos hidroeléctricos modernos, las grandes obras de riego y la construcción de túneles camineros y ferroviarios pueden entrañar la perforación de muchos kilómetros de galerías y la excavación de vastas cámaras subterráneas. A veces, como a estos trabajos se los considera temporarios, se presta en ellos menos atención al riesgo de silicosis y a otros que amenazan la seguridad y la salud de los trabajadores que la que se les presta en las minas, donde ese problema se tiene siempre presente. Si bien, en términos generales, los principios fundamentales de la lucha contra el polvo y sus aplicaciones prácticas son los mismos que en la minería, en los problemas de producción de polvo que se plantean en las operaciones de perforación de túneles y galerías pueden repercutir

la gran rapidez de ejecución de los trabajos, su carácter temporal y la composición de la mano de obra, que en muchos casos es un tanto heterogénea, en su mayoría no calificada y de la que forman parte tan sólo unos cuantos trabajadores experimentados de quienes cabe esperar que se den cuenta del peligro que entraña el polvo y conozcan las precauciones que contra él hay que tomar. Por consiguiente, en las operaciones de perforación de túneles se debe prestar suma atención a todos los aspectos de la lucha contra el polvo, y se deben hacer aplicar las medidas de prevención necesarias manteniendo una vigilancia muy estricta.

OPERACIONES DE PERFORACIÓN

Cuando se abren túneles o galerías, las operaciones de perforación son las que más polvo producen, de manera que hay que tomar las adecuadas precauciones cuando se efectúan operaciones de esta índole. Así, en todas las obras de esta naturaleza es fundamental que las operaciones de perforación se hagan humidificando el material, o que si se hace la perforación en seco se instalen dispositivos de aspiración del polvo.

Si se ha de humidificar el material se pueden utilizar martillos perforadores de percusión con inyección de agua. Estos martillos, con inyección lateral o con inyección central, ya han sido descritos en el capítulo VII. Por lo general, desde el punto de vista de la supresión del polvo son preferibles los martillos con inyección lateral. Si se utilizan martillos con inyección central deben tener orificios de escape delanteros que eviten que el aire comprimido penetre en el orificio que se está perforando, y tanto los martillos con inyección central como los martillos con inyección lateral deberían estar provistos de un mecanismo de control que impida que funcionen cuando no está pasando agua por ellos, de manera que no se pueda atacar el orificio en seco ni hacer en seco ninguna clase de perforación. Los modelos de martillos perforadores utilizados deberían estar aprobados por un organismo oficialmente reconocido y encargado de verificar su construcción y su funcionamiento,

o deberían llenar las condiciones establecidas en el código nacional sobre la prevención del polvo en las industrias.

Orificios suplementarios de escape de los martillos perforadores

No se deberían utilizar en ningún caso martillos perforadores con inyección central que no tengan orificios suplementarios de escape del aire en la parte delantera (véase la figura 43, página 134), porque de lo contrario las operaciones de perforación engendrarán concentraciones de polvo aun cuando se las efectúe con inyección de agua. Este polvo, que se puede observar ya cuando se está trabajando con tres o cuatro martillos con inyección central relativamente ligeros y desprovistos de orificios suplementarios de escape, varía en cantidad según el volumen de aire que llega al fondo del orificio que se está perforando junto con el agua inyectada, y en los túneles de sección reducida puede hacer aumentar considerablemente la concentración de polvo existente en el frente de arranque. Las concentraciones de polvo son aún mayores cuando la perforación se efectúa con martillos pesados (de entre 30 y 60 kg) que no tienen orificios suplementarios de escape, y en los túneles de gran sección se emplean a menudo diez o más de estos martillos a un mismo tiempo, montados en carros de perforadoras múltiples.

Inyección de una mezcla de aire y agua

No conviene utilizar martillos perforadores que tengan conductos dobles que permitan que el agua y el aire lleguen simultáneamente al fondo del orificio que se está perforando. Lo que se trata de lograr con este tipo de martillos, que es acelerar la perforación merced a la rápida limpieza del fondo del orificio, también se puede conseguir aumentando la presión del agua. Con este sistema de perforación con inyección de agua se producen concentraciones de polvo aún mayores que cuando la perforación se realiza con martillos no provistos de orificios de escape. En las pruebas que se han hecho con martillos de este tipo relativamente

ligeros se han observado concentraciones de polvo residuales de entre 80 y 90 mg por metro cúbico de aire.

Suministro de agua

En los túneles, lo mismo que en las minas, un procedimiento que facilita mucho la supresión del polvo en el frente de arranque durante las operaciones de perforación es el de regar todo el lugar de trabajo antes de iniciar la perforación. Del mismo modo, la instalación de un sistema de conducción de agua consistente en una tubería que se va prolongando a medida que el trabajo avanza y con un número adecuado de tomas para establecer conexiones es indispensable cuando se están abriendo túneles, ya se haga la perforación en seco y con aspiración del polvo, ya se la haga con humidificación del material. En todo caso se debe cuidar de que el agua utilizada sea agua limpia.

En las regiones en que es probable que en determinada época del año se hiele el agua en las tuberías podrá ser necesario instalar calentadores eléctricos en los lugares en que los conductos están expuestos al frío.

Perforación en seco

Cuando se utilizan máquinas de perforación en seco y aparatos de aspiración del polvo, tanto las unas como los otros deben llenar las condiciones indicadas en el capítulo VII, que trata de esta cuestión.

VOLADURAS

El polvo que se produce como resultado de las voladuras que se efectúan cuando se abren túneles se puede combatir por medios análogos a los que se utilizan en las minas cuando se abren galerías transversales o se hacen otros trabajos preparatorios en roca dura.

Dada la gran rapidez de ejecución de los trabajos de apertura de túneles, es corriente que en un solo turno de trabajo se hagan dos o tres pegas de barrenos en serie, y por esta razón es especialmente

importante eliminar rápidamente el polvo y los humos producidos por estas voladuras, ya que los trabajadores están en este caso en un riesgo mayor que en otras clases de trabajos mineros. Como quiera que las concentraciones de polvo pueden llegar a ser de 2.000 mg/m³ o más y que la proporción de partículas de menos de 5 micrones puede llegar a ser de entre el 85 y el 90 por ciento (lo cual puede representar hasta 200.000 de estas partículas por centímetro cúbico), es absolutamente necesario proteger adecuadamente a los trabajadores contra el polvo y los humos que producen las voladuras.

Lo primero que hay que hacer para proteger a los trabajadores contra estos peligros durante los trabajos en los túneles es asegurar una buena ventilación en los lugares de trabajo. Las condiciones que debe llenar un sistema de ventilación se expondrán a continuación. Cabe señalar a este respecto que el estudio de los sistemas de ventilación que se suelen instalar en las minas será de utilidad para todos los que tienen que establecer los planes de trabajos de este tipo. Por otra parte, una buena ventilación no solamente reducirá el riesgo a que están expuestos los trabajadores, sino que también facilitará en gran medida el adelanto de los trabajos.

Por lo que respecta a las voladuras, cabe recordar una costumbre bastante general, que es la de limpiar los barrenos con aire comprimido antes de introducir el explosivo, con lo cual se producen grandes y muy peligrosas concentraciones de polvo. Esto no se debería permitir ni siquiera cuando la humedad natural es muy grande. Los barrenos se pueden limpiar con mucha rapidez introduciendo en ellos un tubo de cobre que llegue hasta el fondo y que esté unido a un tubo flexible e inyectando agua en el barreno. Si por cualquier razón es necesario emplear aire para limpiar los barrenos, el tubo de cobre debe estar provisto de una llave de paso de tres vías que permita inyectar agua o una mezcla de agua y aire, pero no aire sólo.

Por último, cabe insistir una vez más en lo importante que es el agua, que se puede emplear en forma de neblina para aglomerar el polvo y humedecer la zona de la voladura antes de hacerla y después de fracturada la roca.

VENTILACIÓN

El envío de una cantidad suficiente de aire puro a los lugares de trabajo es la primera medida que hay que tomar para proteger a los trabajadores contra el polvo cuando se está abriendo un túnel o una galería o se están efectuando trabajos parecidos. En varios países existen reglamentos que determinan, lo mismo que en el caso de las minas, la cantidad mínima de aire por persona que hay que hacer llegar al lugar de trabajo.

Aunque las disposiciones de estos reglamentos dan una idea de lo que se necesita para que las condiciones de trabajo sean buenas, las cifras que en ellos se indican se deberían considerar cifras mínimas, y en cada caso habría que estudiar detenidamente la clase de trabajo que se va a efectuar y la clase de máquinas que se van a utilizar. Por ejemplo, si se han de utilizar motores diesel la ventilación tendrá que ser la mejor que pueda existir, que para los trabajos mineros se ha fijado en algunos países entre 4,5 y 6 m³ de aire por minuto y por caballo de potencia efectiva, si bien hay países en que se aceptan cifras inferiores cuando se trata de trabajos efectuados por empresas de ingeniería civil. Se pueden obtener condiciones satisfactorias haciendo lo necesario para que la concentración de ciertos gases en la atmósfera no pase de las proporciones siguientes: CO₂, 0,5 por ciento; CO, 0,01 por ciento; NO₂, 0,0025 por ciento. Por otra parte, la proporción de oxígeno nunca debe ser inferior a 20 por ciento.

El olor irritante que desprenden los motores diesel se debe a los aldehídos, y se hace perceptible cuando el aire contiene una parte por millón.

Cuando se prepara la instalación de un sistema de ventilación conviene calcular que deberá dar entre 9 y 12 m³ de aire por minuto por cada metro cuadrado de sección del túnel.

Sistemas de ventilación

El sistema de ventilación de un túnel puede ser impelente o aspirante, o pueden asimismo combinarse estos dos sistemas. La

ventilación impelente tiene la ventaja de enviar directamente el aire fresco al frente de talla donde trabaja la mayor parte del personal; además, cuando la temperatura de la roca circundante es elevada, la del aire sigue siendo relativamente baja en los alrededores de la boca de ventilación. Con la ventilación aspirante, debido a la lentitud con que se mueve el aire, éste llega al frente de arranque a una temperatura parecida a la de la roca circun-

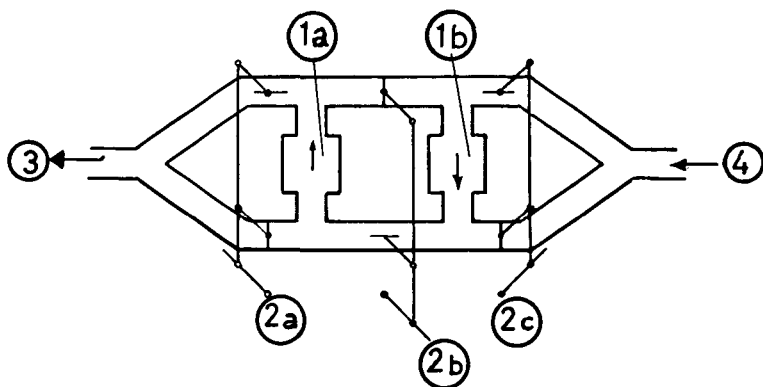


FIG. 108. — Ventilación de un túnel con dos ventiladores centrífugos instalados en serie.

1a y 1b: Ventiladores. 2a, 2b y 2c: Válvulas instaladas en los conductos de ventilación. 3: Hacia el túnel. 4: Entrada del aire del exterior.

Cambiando la posición de las válvulas o puertas de ventilación de cada serie se pasaría de la ventilación por lanzamiento de aire a la ventilación por aspiración.

dante. Además, si existe en el túnel una emanación de gas, éste será arrastrado hacia el frente de arranque. No obstante, este tipo de ventilación permite sacar con gran rapidez el aire del frente junto con el polvo que allí se ha producido y con los humos de las voladuras. En el capítulo IV se expusieron las ventajas y los inconvenientes de estos dos sistemas de ventilación.

Cuando se hace adelantar el trabajo con mucha rapidez es prácticamente indispensable aspirar el aire después de las voladuras

para ahorrar tiempo y para evitar que los trabajadores estén expuestos al humo y al polvo producidos, razón por la cual se utiliza cada vez más una combinación de los sistemas de ventilación impelente y de ventilación aspirante, en la cual se instalan ventiladores de flujo axial reversible o un simple sistema de válvulas o puertas colocadas en los conductos de ventilación (véase la figura 108).

Los ventiladores que se utilizan en los túneles que se están perforando pueden ser centrífugos o de corriente axial. La presión, en todo caso, debe ser suficiente para suministrar un volumen de aire más o menos constante a todo lo largo de los conductos de ventilación. Como la presión tendrá que ir aumentando poco a poco a medida que adelantan los trabajos, se necesitarán transmisiones por correa de velocidad variable o cualquier otro dispositivo de regulación de la velocidad, o bien, si se utilizan ventiladores de corriente axial, se pueden montar en serie varios análogos para ir aumentando la presión a medida que aumenta la longitud de los conductos.

Además de instalar un sistema de ventilación auxiliar adecuado se deberían utilizar en el frente de arranque rociadores de agua antes y después de las voladuras. En estos casos se utilizan boquillas especiales por las que se puede lanzar una mezcla de aire y agua bajo presión contra el frente de arranque y la roca fracturada. Este sistema se ha descrito en el capítulo III.

Conductos de ventilación

Para que la ventilación sea buena es preciso instalar buenos conductos. Los conductos más adecuados son los provistos de bridas o rebordes, que cuando están bien montados no dejan pasar el aire. Los conductos deben llegar lo más cerca posible del frente de arranque, que es el lugar que mejor ventilado debe estar. (Véase asimismo lo indicado en la parte del capítulo IV relativa a esta cuestión.)

CARGA, TRANSPORTE Y DESCARGA

Carga

La formación de polvo durante la carga de los escombros en los túneles abiertos en roca será difícil de evitar sean cuales fueren los métodos que se utilicen. Lo primero que hay que hacer es, pues, aplicar agua en cantidad suficiente, habida cuenta de la velocidad a que se han de transportar los escombros. En los últimos años se ha generalizado en la perforación de túneles el empleo de equipo de carga mecánico, de manera que es excepcional la carga a mano o el trabajo con pala, aparte del de limpiar el suelo tras el paso de las máquinas.

Con la carga mecánica de productos secos se levanta mucho polvo, aunque la cantidad varía según el tipo de máquina cargadora. Y aún es mayor la cantidad de polvo que se produce cuando la roca pasa de la cargadora a las vagonetas o a los transportadores, sobre todo si la primera es una cargadora de pala.

La mejor manera de proteger a los trabajadores es montar en las máquinas de carga rociadores automáticos. Si no se lo puede hacer, se debe humedecer completamente la roca inmediatamente después de la voladura y antes de iniciar la carga. También se la debería volver a humedecer varias veces durante la carga, especialmente en el punto de ataque de la cargadora, porque a medida que adelanta el trabajo irá quedando al descubierto material seco.

Si hay que romper grandes bloques de roca desprendidos del frente (operación que generalmente se efectúa con martillos perforadores) es indispensable utilizar martillos con inyección de agua.

Transporte

Durante el transporte por rieles, y especialmente si los recorridos son largos o si las vagonetas cargadas quedan detenidas durante el tiempo suficiente para que la carga se seque, se producirá cierta cantidad de polvo que quedará en suspensión en el aire. Así, pues, si se advierte que la roca tiende a secarse por alguna de

estas razones se debe rociar con agua el material también durante el transporte, ya sea con rociadores de mano, ya con rociadores automáticos (véase la lámina III). El transporte en camiones diesel suele crear menos problemas de esta índole.

Descarga

En el punto de descarga también se puede producir polvo, aunque, como la descarga se hace al aire libre, no suele entrañar grandes riesgos, siempre y cuando se tomen las medidas necesarias para evitar que las nubes de polvo que se levantan entren en los edificios cercanos o lleguen a zonas vecinas donde el polvo pueda ser respirado por los trabajadores.

ENTIBADO TEMPORAL

Si la naturaleza del terreno exige la instalación de un entibado temporal, su construcción puede engendrar una considerable cantidad de polvo. En este caso, el polvo se produce al perforar las muecas y otras pequeñas cavidades en las paredes, y también con el manejo y el transporte de los maderos y demás materiales con que se construye el entibado. Una medida de precaución general para evitar que se produzca polvo cuando se efectúan estas operaciones es la de regar bien tanto la zona de trabajo como el material que se ha de utilizar antes de iniciar la construcción del entibado. De ser posible, los trabajos de perforación se deberían efectuar con inyección de agua.

REFORZAMIENTO DE TECHOS Y MUROS

En muchos casos se refuerzan el techo y las paredes del túnel aplicando con pistola cemento líquido en las partes que se pueden desmoronar por desmenuzamiento de la roca. Al efectuar esta operación, esto es, al « gunitar » esas superficies, se produce una considerable cantidad de polvo. En los estudios que se han

hecho se han hallado hasta 300 mg de polvo fino por metro cúbico de aire. Para proteger a las personas que hacen este revestimiento con cemento líquido se necesita una buena ventilación. Además, los trabajadores deben dar siempre la espalda a la corriente de aire: si el sistema de ventilación es impelente, la aplicación del cemento debe comenzar en el lugar más alejado del frente de arranque para irse acercando a éste; si el sistema de ventilación es aspirante se debe seguir la dirección contraria. Si estas precauciones fuesen insuficientes se debería utilizar equipo de protección individual (en este caso mascarillas de respiración).

LIMPIEZA DE LOS LUGARES DE TRABAJO

Es de suma importancia mantener los lugares de trabajo lo más limpios posible. Ésta es una cuestión a la que hay que prestar mucha atención en los lugares de trabajo de la superficie, y con doble razón en los lugares de trabajo subterráneos. Los escombros y los desechos acumulados se deberían sacar del lugar de trabajo regularmente, y se deberían tomar especiales precauciones cuando se manejan raíles, tubos, durmientes y tablas de encofrado usados, que cuando están secos pueden desprender mucho polvo. El material caído de las vagonetas o de las cubetas y los trozos desprendidos del techo y de las paredes deberían ser retirados inmediatamente y metidos en recipientes especiales. Es también de gran importancia abrir tomas de agua en lugares adecuados del sistema de conducción, para que si hay que efectuar algún trabajo en el que se levante una cantidad excesiva de polvo se pueda conectar una manguera y regar el piso, las paredes y el techo del túnel en los alrededores.

VIGILANCIA

Los inspectores deberían explicar detalladamente a los trabajadores los peligros que entraña el polvo en suspensión en el aire. Si el personal se da perfecta cuenta de que hay que tomar precauciones, se facilitará considerablemente la tarea de los

inspectores de lograr que se apliquen todas las medidas de supresión del polvo y que se sigan las instrucciones dadas. Los jefes de equipo, por ejemplo, suelen estar en estrecho contacto con los trabajadores dada la poca extensión de las obras, de manera que les es fácil instruirlos y asegurarse de que no se crea ningún riesgo coniótico que no sea inevitable.

CAPÍTULO XIV

ALGUNOS PROBLEMAS ESPECIALES

Determinadas clases de explotaciones o la ejecución de trabajos especiales propios de una mina o de una clase de minas plantean problemas particulares. Por lo general, el problema del polvo se puede resolver en estos casos por los métodos que se han descrito en esta guía, pero cuando el riesgo coniótico es particularmente grande o cuando existen otros factores que contribuyen a acrecentarlo puede haber que tomar medidas especiales. En este capítulo se exponen algunos casos de éstos.

ESQUISTIFICACIÓN EN LAS MINAS DE CARBÓN

La esquistificación, o espolvoreo con piedra molida fina, en las minas de carbón tiene por objeto reducir la cantidad de polvo combustible en los lugares de trabajo, aunque hay otros procedimientos para resolver este problema, como el de evitar la producción y la acumulación de ese polvo combustible y también el de fijarlo o extraerlo. Todos estos procedimientos últimamente mencionados tienen la ventaja de coincidir con los de lucha contra el polvo silíceo.

Si se ha de hacer la esquistificación es de suma importancia elegir bien el polvo que se ha de utilizar. Para que la protección contra el riesgo de explosión sea satisfactoria es fundamental que el polvo posea propiedades satisfactorias de dispersión. Los ensayos realizados han hecho ver que hay ciertas clases de polvo que se dispersan con menos facilidad que otras, y que la piedra pulverizada de la que se han separado las partículas de menos de 5 o 10 micrones resulta menos eficaz para evitar las explosiones.

Al mismo tiempo debe tenerse muy en cuenta el contenido en sílice de la roca de que proviene el polvo. En algunos países se ha establecido un máximo permisible de 5 por ciento de sílice en el polvo, partiendo del principio de que todo el polvo compuesto de partículas de menos de 5 micrones y con un contenido en sílice superior a 5 por ciento es peligroso para la salud.

Entre las precauciones que hay que tomar cuando se hace la esquistificación están la de cuidar de que los trabajadores encargados de esta tarea utilicen máscaras de protección y la de velar por que sólo se haga este trabajo cuando son pocos los trabajadores que quedan en la mina y nadie está expuesto a la nube de polvo que se levanta. Conviene verificar bien de qué clase de roca se obtiene el polvo con que se hace la esquistificación y hacer regularmente ensayos para determinar su contenido en sílice. A menudo puede ser conveniente que se reúnan varias minas para surtirse todas de la misma fuente.

Lo que no se debe olvidar es que hay que proporcionar aparatos de captación del polvo y otros medios de protección a los trabajadores que pulverizan la roca.

ALTITUD

En los países donde se explotan minas que están a grandes altitudes sobre el nivel del mar se plantean ciertos problemas especiales relacionados con la supresión del polvo: a esas altitudes es menor el contenido de oxígeno del aire, cambia súbitamente la temperatura en cualquier hora del día y en ciertas circunstancias las máquinas pueden perder fuerza.

La baja presión atmosférica y la menor cantidad de oxígeno que tiene el aire hacen asimismo que los trabajadores respiren más profundamente e inhalen una mayor cantidad de aire. Por lo tanto, las concentraciones de polvo se deberían poner en correlación con esa cantidad de aire inhalada y las cifras que se suelen aceptar como concentraciones permisibles se deberían reducir correspondientemente. También puede ser necesario aumentar el volumen mínimo de aire que hay que suministrar por cada trabajador. Por ejemplo,

en el Perú, donde se explotan minas que están entre 4.000 y 5.200 metros por encima del nivel del mar, los reglamentos exigen que el volumen mínimo de aire de 3 m³/min por hombre que se da en las minas que están a menos de 1.500 metros de altitud se aumente en 40 por ciento cuando las minas están a una altitud de entre 1.500 y 3.000 metros, en 70 por ciento cuando están a una altitud de entre 3.000 y 4.000 metros y en 100 por ciento cuando la altitud pasa de 4.000 metros. Los cambios súbitos de temperatura que se pueden producir en las regiones montañosas pueden ocasionar variaciones en la presión natural de ventilación, que a su vez pueden dar por resultado una reducción en el volumen de aire aspirado o lanzado por los sistemas de ventilación de las minas y también cambios de dirección de la corriente de ventilación, y los trabajadores podrían verse expuestos a un serio riesgo debido al polvo y a los humos.

Otro peligro contra el cual hay que tomar precauciones es el de que se hiele el agua en las tuberías de conducción, especialmente en los conductos de alimentación de las instalaciones de aglomeración del polvo o perforación con inyección de agua. También hay que tener presentes los efectos de la altitud sobre las máquinas que se utilizan para la ventilación.

TEMPERATURA Y HUMEDAD

Cuando los trabajos de explotación minera o de perforación de galerías se efectúan en estratos en que la temperatura natural es elevada, el aire de la corriente de ventilación, a su llegada a los lugares de trabajo, puede tener también una temperatura elevada que puede producir perniciosos efectos fisiológicos en los trabajadores. Estos efectos se hacen mucho más graves cuando la elevada temperatura del aire va unida a una gran humedad relativa.

En las minas de alta temperatura convendría que no hubiera agua suelta en los lugares de trabajo para que la humedad relativa de la corriente de ventilación no aumente mucho. Desdichadamente, cuando hay que utilizar agua para combatir el polvo es imposible mantener un bajo grado de humedad, y para contrarrestar los

malos efectos de esa humedad se debe enviar a la mina un volumen de aire mayor, y si las condiciones son muy malas se debe instalar un sistema de refrigeración (acondicionamiento de aire).

Cuando existen estos problemas se puede mejorar un poco la situación manteniendo secas las galerías y los pozos de entrada de aire, para que éste no entre en contacto con agua mientras no llegue al lugar de trabajo. También hay que cuidar de que en los rociamientos y en las operaciones de perforación que se efectúan en los lugares de trabajo no se emplee una cantidad de agua excesiva. Por ejemplo, en un país donde los trabajos mineros en roca dura se efectúan en condiciones que exigen la utilización de agua para combatir el polvo, los estudios realizados han demostrado que la cantidad que se utilizaba en diferentes lugares variaba entre 50 y 800 litros por tonelada de roca arrancada, sin que hubiera nada que indicara que en un caso se produjera más cantidad de polvo que en el otro. Esto parece indicar que algunas veces se utiliza mucha más agua que la necesaria para combatir el polvo, y que en esos casos se mejorarían las condiciones atmosféricas si se redujese un poco la cantidad de agua utilizada, porque no habría una humedad excesiva.

Tanto el frío como el calor intensos pueden aumentar las dificultades de la lucha contra el polvo. Así, en los lugares de trabajo donde la temperatura es inferior al punto de congelación no se puede utilizar agua, y esto ocurre con cierta frecuencia en las minas de poca profundidad de los países fríos. Aunque resulta caro calentar el aire, esto es lo que se hace algunas veces. En las regiones en que el subsuelo está helado permanentemente se ha podido algunas veces substituir la perforación en seco con captación del polvo por la perforación con inyección de líquidos anticongelantes.

ELIMINACIÓN DEL POLVO Y DE LOS HUMOS DESPUÉS DE LAS VOLADURAS

Ya se ha hablado anteriormente del peligro que entrañan el polvo y los humos producidos por las voladuras y se ha indicado que la mejor manera de evitarlo es hacer que el aire que proviene de

la zona donde se han hecho las voladuras sea descargado en la superficie sin pasar por ningún lugar donde se lo pueda respirar. El peligro se acrecienta en los trabajos de minería y perforación de túneles en roca dura, donde se utilizan gelignita y dinamita, explosivos que desprenden óxidos de nitrógeno, que no sólo son venenosos sino que, según dicen muchas autoridades en la materia, agravan en algunos casos los efectos del polvo en los pulmones, aun cuando se hallen presentes en cantidades muy pequeñas.

En algunas minas, por exigencias de los trabajos mineros, es difícil o imposible evitar que el aire de retorno pase por otros lugares de trabajo después de las voladuras, y por esta razón se ha tratado de construir instalaciones de filtración eficaces para polvo y humo, a fin de mantener en estos casos las debidas condiciones de seguridad.

La primera condición que debe llenar una de estas instalaciones es poder filtrar un gran volumen de aire (alrededor de 2,5 m³/s) y retener eficazmente la enorme cantidad de gases tóxicos y de polvo nocivo que se desprenden en la pega de barrenos. Además, deben poder funcionar en las condiciones desfavorables que a menudo se encuentran en las minas y deben ser fáciles de manejar.

En una de las instalaciones de este tipo se emplea para eliminar los humos una solución alcalina de permanganato de potasio dispuesta en una capa de láminas de vermiculita, y para eliminar el polvo una serie de filtros de bolsa de franela. Se afirma que se han obtenido resultados muy satisfactorios con 170 m³ de aire por minuto, pero, aun así, en el punto de salida de la instalación contiene hasta 0,01 por ciento de gases nitrosos, de manera que hay que reducir la concentración por lo menos cinco veces para que ofrezca seguridad.

En el anexo 3 se dan detalles sobre el funcionamiento y la construcción de estas instalaciones de filtración.

INSTALACIONES SUBTERRÁNEAS DE TRITURACIÓN DE ROCA

Desde el punto de vista de la supresión del polvo, es preferible que todas las instalaciones de trituración de roca estén en la super-

ficie, donde el polvo puede ser aspirado y descargado por los métodos que se expusieron en el capítulo XII, pero en algunos casos puede ser necesario tener una instalación de trituración en el fondo de la mina, en especial cuando se tritura piedra para las labores de relleno.

El problema de la captación del polvo en el lugar en que se lo produce es fundamentalmente el mismo que en la superficie, y todo lo que aquí queda por decir es que en todas las etapas de la trituración se debe utilizar agua en abundancia. La principal dificultad consiste en la eliminación del polvo captado, y en esto es en lo que hay que tomar particulares precauciones. Como se recordará, en las instalaciones de la superficie la mayor parte del polvo (en peso) se capta con aparatos en que se utiliza agua, ciclones y otros aparatos similares, volviendo, por regla general, a la instalación en forma de lodo; el polvo restante, compuesto de partículas finas respirables, se descarga en la atmósfera.

En una mina sólo se puede descargar estas partículas finas en la atmósfera cuando se las puede hacer pasar directamente a una galería o a un pozo de retorno de aire, y si se está seguro de que no han de llegar a una zona donde puedan ser inhaladas por los trabajadores, de manera que las instalaciones de trituración deberían estar en lugares que comuniquen directamente con un pozo o una galería de retorno de aire por los que pueda salir todo el aire que procede de la instalación.

Cuando esto no es posible o cuando el aire que sale de la instalación de trituración puede ser respirado por algún trabajador, además de los ciclones o los purificadores de aire se debe instalar un sistema de filtración que elimine eficazmente las pequeñas partículas respirables. Para esto se deberían utilizar filtros de tela o colectores electrostáticos como los descritos en el capítulo V.

Las partículas más gruesas, que se recogen en grandes cantidades en las instalaciones de trituración, se pueden enviar a la superficie por bombeo en forma de lodo, se las puede mezclar con agua en una máquina mezcladora y cargar luego como lodo más espeso, o se las puede meter en bolsas de papel que se amontonan detrás de los pequeños muros que se construyen cuando se hacen

labores de relleno o en zonas de la mina donde la explotación ya ha terminado. En este último caso las bolsas deben ser irrompibles y se las debe llenar con gran cuidado en atmósfera húmeda. Si se las amontona detrás de los pequeños muros de los rellenos contribuyen a impedir el paso del aire.

RADIATIVIDAD

Otro factor que hay que tener en cuenta, particularmente en las explotaciones subterráneas de minerales con gran contenido de uranio, es la presencia en el aire de la mina de gases o polvo radiactivos. El gas radiactivo, o radón, se forma constantemente en el mineral de uranio por el proceso natural de desintegración radiactiva. El radón se difunde poco a poco a través del mineral y pasa a la atmósfera de la mina.

La desintegración del radón y de los elementos resultantes de esa desintegración produce una serie de elementos radiactivos, algunos de ellos sólidos, muchos de los cuales emiten partículas alfa. El principal peligro que entrañan las radiaciones para los trabajadores es la irradiación de los pulmones y también de otros órganos como consecuencia de la inhalación de esos elementos radiactivos que existen en el aire de la mina. Por regla general, se considera que la ventilación es lo más práctico para mantener la exposición a las radiaciones a un nivel aceptable.

En la mayor parte de los casos, si se ha instalado una ventilación adecuada para combatir el polvo no radiactivo en suspensión en el aire no se formarán concentraciones peligrosas de elementos radiactivos. No obstante, hay que tomar especiales precauciones en las zonas en que el mineral es particularmente rico, en que la ventilación pueda ser insuficiente o pueda estancarse el aire o donde se hallen expuestas al aire grandes superficies de la vena.

No se debe olvidar que puede haber radón en minas que no son de uranio.

CAPÍTULO XV

PROTECCIÓN INDIVIDUAL

Por muy cuidadosamente que se apliquen en las minas y los túneles las medidas de prevención y de supresión del polvo descritas en los capítulos anteriores puede haber circunstancias en que sea inevitable la exposición a grandes concentraciones de polvo, especialmente en caso de avería o mal funcionamiento de las instalaciones destinadas a su eliminación. También de vez en cuando se dan circunstancias excepcionales que obligan a ciertas personas a entrar en lugares en que el aire está muy cargado de polvo, por ejemplo, cuando se está ensayando un nuevo método de explotación o un nuevo tipo de máquina. Asimismo, las personas encargadas de controlar la ventilación y el polvo pueden tener que entrar en las instalaciones de filtración o de manejo del mismo o que inspeccionarlas.

En todos estos casos se deben proporcionar a los trabajadores medios de protección individual; en otras palabras: los mineros que trabajan en una atmósfera en que sea grande la concentración de polvo deben llevar una máscara que les suministre aire puro o que filtre adecuadamente el aire cargado de polvo en el momento de la inspiración.

Parece ser que la resistencia que los trabajadores oponían en otros tiempos al uso de la máscara es ahora menor, probablemente como consecuencia de los grandes perfeccionamientos introducidos en estos aparatos. No obstante, todas las máscaras tienen el inconveniente de causar ciertas molestias a las personas que las utilizan, especialmente cuando hace calor, y de dificultar en gran medida la actividad de los trabajadores y reducir su rendimiento. Por último, no basta con poner a la disposición de los

trabajadores estas máscaras para que se reduzca automáticamente el riesgo que el polvo entraña en una mina, ya que los trabajadores pueden mostrarse poco dispuestos a usarlas.

Cabe repetir, pues, que aunque para la protección del personal contra el polvo hay que utilizar principalmente los métodos descritos en los capítulos anteriores, la protección individual de los trabajadores puede ser en ciertos casos la única manera de evitar la inhalación de polvo.

Las máscaras que se fabrican para su utilización en el fondo de las minas son de dos clases: máscaras de filtro y máscaras de aire comprimido.

CONDICIONES QUE DEBEN REUNIR LAS MÁSCARAS DE FILTRO

Las máscaras deben estar construídas de manera que incomoden lo menos posible a las personas que las utilizan. Así, por ejemplo, las máscaras no deben reducir el campo visual, lo cual tiene gran importancia en las minas, donde gran parte del trabajo se tiene que hacer mirando hacia abajo. A este respecto tiene gran importancia la posición del filtro o de los filtros. Pero la mayor parte de las máscaras producen ciertas molestias e incomodidades que es preciso soportar si se quiere estar seguro.

Ante todo, cuando se trate de adquirir las máscaras deben tenerse en cuenta la eficacia del filtro y la resistencia de la máscara a la respiración. Estas dos características deberían estar indicadas con precisión en todas las especificaciones oficiales.

La conservación de las máscaras en buen estado debe ser fácil, cosa que también es importante. Como todas las máscaras se deben limpiar y verificar cuidadosamente cada vez que se las acaba de usar, la sencillez es fundamental en ellas.

Gracias a los conocimientos adquiridos en los últimos años acerca de las partículas de polvo finas se han popularizado mucho varios tipos de máscaras de filtro. Estos aparatos consisten esencialmente en la máscara propiamente dicha, que se ajusta perfectamente a la cara, un filtro para polvo fino (a menudo combinado con un filtro para polvo grueso), una válvula de inspiración y

una válvula de espiración. Existen muy distintos tipos de máscaras para trabajos mineros. En la lámina VIII se pueden ver algunas máscaras modernas que satisfacen las actuales exigencias.

Ensayo y aprobación de las máscaras

En 1952, una reunión de expertos convocada por la O.I.T. recomendó que sólo se utilizaran en las minas tipos de máscaras ensayados y aprobados por un organismo competente. Sólo de esta manera se estará seguro de que los aparatos que construyen los fabricantes se ajustan cabalmente a las normas hoy en día establecidas.

En términos generales, las máscaras deberían reunir las siguientes condiciones: su resistencia inicial a la inspiración no debería ser superior a 20 o 25 mm de columna de agua contra una corriente de aire de 90 l/min; en las condiciones prácticas de utilización, su resistencia no debería ser superior a 25 mm de columna de agua por un período de utilización de hasta cuatro horas; la resistencia a la espiración, que también se debería verificar, no debería ser superior a 10 o 12 mm de columna de agua contra esa corriente de aire de 90 l/min.

La eficacia del filtro de las máscaras también se debería verificar, reproduciendo para ello las condiciones en que realmente se las ha de utilizar, cuidando especialmente de asegurarse de la eficacia de filtración de las partículas más finas de polvo respirable que se han de hallar en las condiciones reales de trabajo en que se piensa emplear las máscaras.

Las máscaras sometidas a aprobación deberían ser objeto de un examen general, a fin de verificar, por ejemplo, si se ajustan bien a la cara (las máscaras deberían tener diversas formas) y no dejan pasar el aire cuando se las tiene puestas.

Características generales

Las máscaras deberían estar construidas de manera que se las pueda tener puestas largo tiempo sin que molesten. Se deberían

ajustar bien a la cara, sin dejar pasar el aire, y una vez colocadas deberían dejar la menor cantidad posible de espacios muertos en el interior. Las máscaras deberían ser fuertes, para que no se estropeen aunque se las trate con descuido, y hechas de un material que soporte el lavado periódico, de ser preciso con desinfectantes, y la esterilización. Además, deberían ser incombustibles y no deberían irritar la piel.

El peso es también un factor importante. La mayor parte de las máscaras pesan entre 100 y 400 g. Si su peso es excesivo es probable que los trabajadores se muestren más reacios a usarlas, de manera que el aparato completo no debería pesar más de 225 g.

En la mayor parte de los países se han establecido normas para el ensayo y la aprobación de las máscaras, que en algunos casos exigen de ellas más de lo que se acaba de indicar. Sin entrar en detalles acerca de los ensayos de las máscaras, se enumerarán a continuación los principales factores que se deben tener en cuenta, que son los siguientes:

- a)* peso;
- b)* características de la máscara propiamente dicha, impenetrabilidad al aire y perfecto ajuste a la cara;
- c)* comodidad de las personas que han de usarla y no irritación de la piel;
- d)* calidad de las válvulas de inspiración y de espiración;
- e)* salida del sudor;
- f)* espacios muertos;
- g)* características de las bandas de fijación;
- h)* campo visual;
- i)* construcción del filtro;
- j)* poder de filtración;
- k)* resistencia a la respiración;
- l)* facilidad de limpieza y esterilización;
- m)* solidez y facilidad de transporte del estuche.

La máscara propiamente dicha

La máscara, que mantiene el filtro con sus válvulas de inspiración y de espiración delante de la cara del trabajador, es de caucho, de un material sintético análogo al caucho o de metal ligero. Se ajusta perfectamente gracias a un reborde especial que impide el paso del aire al interior de la máscara, y se la puede adaptar a diferentes formas de cara, para lo cual algunas de ellas tienen bandas ajustables, otras son elásticas y otras se fabrican en diversos tamaños y tienen diferentes rebordes que se ajustan estrechamente a todas las formas de cara. Las máscaras se pueden ajustar debajo del mentón o encima de él, prefiriéndose generalmente las que se ajustan debajo del mentón (véase la lámina VIII).

La comodidad de la persona que tiene puesta una máscara depende de las características de las bandas que la sujetan a la cabeza, de cómo encaje la máscara y del calor que en la cara haga sentir, entre otras cosas. También hay que verificar si a las personas que usan gafas les son cómodas las máscaras.

Válvulas

En ninguna de las máscaras modernas se aplica ya el sistema del conducto único para la inspiración y la espiración, que ha sido substituído por el de válvulas separadas de inspiración y de espiración. Las válvulas deberían ofrecer la menor resistencia posible a la respiración (la resistencia a la espiración debería ser inferior a la resistencia a la inspiración), deberían cerrar herméticamente y deberían ser fáciles de limpiar. La válvula de inspiración, que suele ser de caucho, debería ser lo más elástica, delgada y lisa posible. Las válvulas de espiración son generalmente válvulas de charnela de metal ligero o de un material sintético y de caucho, o válvulas de hoja de mica con resorte, o válvulas con reborde labiado de caucho.

Para reducir la resistencia a la espiración, algunas máscaras han sido provistas de dos válvulas de espiración. Hay que tener presente que las válvulas, en este caso, deben cerrar aún más

herméticamente que las de las máscaras que sólo tienen una válvula de espiración; deben cerrar perfecta y rápidamente, de manera que durante la inspiración queden perfectamente cerrados los orificios de espiración.

Eliminación del sudor

La eliminación de la humedad que se acumula en todas las máscaras que se ajustan bien a la cara a consecuencia de la transpiración y de la condensación del vapor de agua que contiene el aire, generalmente caliente y húmedo, de las minas, se logra de diversas maneras. En algunas máscaras, la transpiración se elimina por una válvula de espiración; otras tienen en la parte inferior, en el lugar en que se aplican al mentón, una trampilla especial que se puede abrir de vez en cuando.

Bandas de fijación

El perfecto ajuste de la máscara y la distribución del peso no dependen solamente de las características de la máscara propiamente dicha, sino que también dependen de las características de las bandas con que se la sujeta a la cabeza. Estas bandas suelen ser de caucho o de algún otro material recubierto de caucho y pueden ser simples o dobles. De cualquier manera que estén hechas deben ser ajustables y no deben oprimir excesivamente la cabeza cuando se las ajusta.

Filtros

Las máscaras que más generalmente se utilizan tienen filtros de un papel sometido a un tratamiento especial. A estos filtros se les dan formas diferentes, tratando siempre de que la superficie de filtración sea lo más extensa posible para las menores dimensiones posibles. El fabricante debe tratar de satisfacer dos necesidades contradictorias, dando a la máscara la mayor eficacia de filtración posible y la menor resistencia posible a la respiración. El filtro

debe tener una gran eficacia inicial de filtración, pero no se debe obstruir sino muy lentamente, tras un largo período de utilización, aumentando su resistencia a la respiración también muy lentamente.

Hay filtros de fuelle, filtros con pliegues dobles y filtros regulables, tanto para máscaras de un filtro como para máscaras de dos filtros (véase la lámina IX). Algunas máscaras tienen un primer filtro de lana o de algodón en rama que retiene las partículas más gruesas y evita que se obture demasiado pronto el de las partículas finas.

Ya se ha indicado antes que la resistencia a la respiración depende del tiempo de utilización del filtro. Para que a las personas que trabajan con máscaras les siga siendo fácil respirar se han ensayado diversos procedimientos, y por ahora el que mejor parece es el de instalar en la máscara dos filtros. Las máscaras de dos filtros, además de abrir un campo visual más extenso, ofrecen solamente la mitad de la resistencia a la respiración que ofrecen las de un solo filtro, aproximadamente. Cuando se trabaja durante largo tiempo en lugares donde hay mucho polvo en suspensión, éste puede ser un factor decisivo.

También se ha tratado de solucionar el problema utilizando filtros que puede cambiar el propio trabajador cada vez que lo estime necesario, sin que se vuelva a utilizar el desechado, con lo cual ya no es preciso revisar las máscaras con tanta frecuencia para verificar el estado de los filtros y se facilita su limpieza. Desde el punto de vista de la higiene, estos filtros también son más convenientes que los que se limpian y se utilizan nuevamente, en particular cuando una misma máscara puede ser utilizada por diferentes personas. Además, desde el punto de vista psicológico tienen la ventaja de que cuando la persona que utiliza una máscara le saca el filtro para substituirlo por otro puede ver por sí misma lo eficaz que ha sido y la cantidad de polvo que ha evitado que inhale.

APARATOS DE AIRE COMPRIMIDO

Entre los diferentes aparatos de aire comprimido, la máscara de tubo flexible, que es el más sencillo de los aparatos de protección

individual de este tipo, se utiliza en el fondo de las minas en ciertos casos. Este aparato consiste en una bolsa ligera que se aplica sobre la parte de abajo de la cara y que está alimentada por la red de aire comprimido. El aire circula por delante de la nariz y de la boca a la presión normal, lo cual permite la respiración (véase la figura 109).

Se han introducido diferentes modificaciones en este tipo de máscaras. Actualmente hay máscaras de tubo flexible que tienen una cámara de aire que permite compensar las fluctuaciones debidas

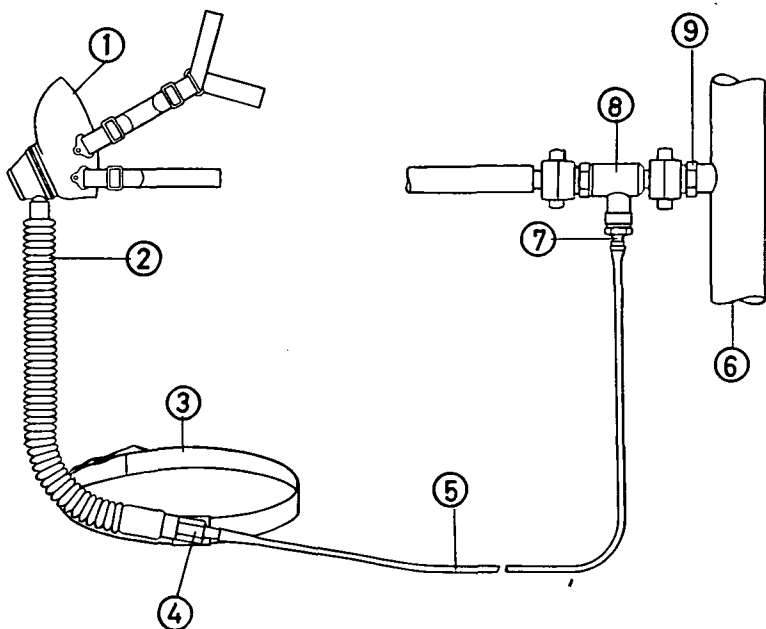


FIG. 109. — Máscara contra el polvo con admisión de aire.

1: Máscara. 2: Tubo flexible. 3: Cinturón. 4: Conexión con la instalación de aire comprimido. 5: Tubo de aire comprimido. 6: Conducto principal de aire comprimido. 7: Unión a rosca. 8: Unión en T. 9: Acoplamiento de aflojamiento rápido.

al movimiento respiratorio. Tras la descompresión, el aire pasa a una cámara que existe en la máscara, y ése es el aire que el trabajador respira. El volumen de aire que llega a esta cámara es de 120 l/min, lo que permite satisfacer las necesidades máximas. En algunos lugares se prefieren las máscaras que no tienen cámara de aire, porque estorban menos a las personas que las usan.

Los trabajadores que utilizan máscaras de tubo flexible tienen la ventaja de que no respiran el aire de la mina, lo cual puede ser especialmente importante en lugares muy calientes y aunque el aire de la mina sea filtrado. No obstante, a pesar de las ventajas que presentan desde el punto de vista de la protección contra el polvo, estas máscaras no son prácticas sino en casos especiales, y, como es lógico, sólo se las puede utilizar cuando existe una red de distribución de aire comprimido. Uno de los principales inconvenientes que estas máscaras tienen es el de dar al trabajador la sensación de estar atraillado; además, el tubo de alimentación reduce muchísimo el radio de acción del trabajador. Por otra parte, hay que limpiar de todo resto de aceite el aire comprimido para que se lo pueda respirar, lo cual también presenta ciertas dificultades. Sin embargo, puede ser conveniente utilizar la máscara de tubo flexible cuando el trabajador no tiene que cambiar de lugar, por ejemplo, en los puntos de carga o de transbordo, o bien mientras se están limpiando máquinas en talleres instalados en el fondo de las minas.

CONSERVACIÓN DE LAS MÁSCARAS EN BUEN ESTADO

La conservación en buen estado de los aparatos de protección individual que se utilizan en las minas predispone a los trabajadores a hacer uso de ellos. Estos aparatos deben ser objeto de una atención continua, deben ser revisados con mucha frecuencia y se los debe mantener en perfecto estado para que las personas que los utilizan confíen en que constituyen una verdadera protección y en que reúnen las necesarias condiciones de higiene. A cada uno de los trabajadores que tengan que trabajar con un aparato respiratorio puesto se le debería proporcionar uno para su uso exclusivo,

y todos estos aparatos deberían estar marcados para que no los utilicen diferentes personas. Todas las máscaras se deberían ajustar perfectamente a la forma de la cabeza y de la cara de los trabajadores que las utilizan, sin dejar entrar el aire por los bordes. Deberían ser entregadas y transportadas en estuches herméticos (cajas de metal o bolsas), de los que sólo se deberían sacar al acercarse al lugar de trabajo. Para evitar toda confusión, se debería poner en cada estuche la misma marca que en la correspondiente máscara.

La conservación en buen estado de las máscaras se debe encomendar a una persona competente. En las minas en que se utiliza un gran número de máscaras debería haber un local especial para su revisión y limpieza, de ser posible cerca del lugar donde se guardan las lámparas, en el que debe haber estantes o percheros en que dejar las máscaras, lugares donde lavarlas con agua caliente y fría, una mesa de trabajo en la cual desmontarlas, limpiarlas, revisarlas y cambiarles los filtros y armarios donde guardar bajo llave las piezas de repuesto, el material de limpieza, los libros de control y las herramientas necesarias. Se deberían tener máscaras de reserva. Cuando se utilizan gran número de máscaras (por ejemplo, más de 35 o de 40) convendría instalar un armario secador especial. La figura 110 es un esquema de una de estas instalaciones. Todas las máscaras distribuidas al comienzo de un turno de trabajo se deberían devolver al terminar el turno, a menos que los trabajadores estén autorizados para depositarlas en otro lugar.

Limpieza

Las máscaras se deberían limpiar cada vez que hayan sido utilizadas. En primer lugar se debería quitar el polvo depositado sobre la máscara y el estuche con un trapo húmedo o con aire comprimido. Si se utiliza aire comprimido se debe hacer la limpieza junto a una campana de aspiración adecuada, y el aire cargado de polvo se debe descargar directamente al exterior por la instalación de aspiración. Si los estuches están muy sucios, después de haberlos limpiado con aire comprimido se los debería lavar con agua

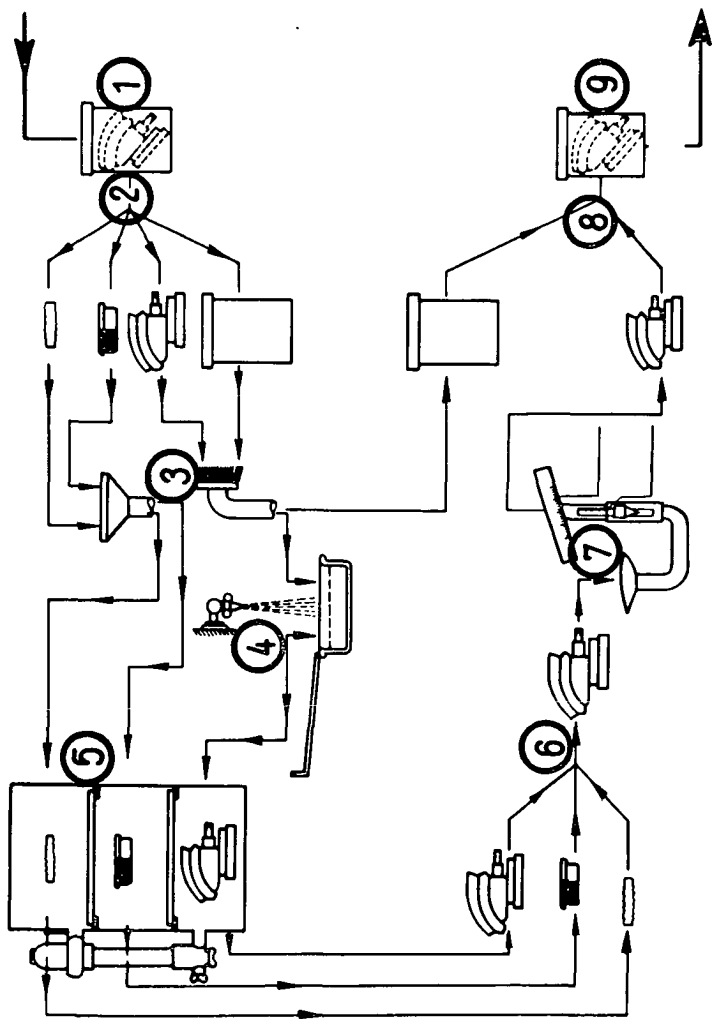


FIG. 110. — Esquema de una instalación de revisión y limpieza de máscaras contra el polvo.

1: Recepción de las máscaras. 2: Desmontaje. 3: Limpieza de los filtros. 4: Lavado de las diferentes piezas, especialmente las máscaras propiamente dichas. 5: Desinfección. 6: Montaje. 7: Verificación de la presión y del volumen de aire. 8: Empaqueado. 9: Distribución.

ligeramente jabonosa, se los debería enjuagar con agua caliente y luego se los debería secar.

Cuando ya se les ha quitado el polvo a las máscaras se las debería desmontar, lavando luego bien todas sus piezas, salvo el filtro, con agua caliente y jabonosa y enjuagándolas con agua corriente. Después se las debería meter en una solución desinfectante adecuada, dejándolas en ella algunos minutos, y por último se las debería enjuagar con agua clara.

Secado

Después de haber sido lavadas, las piezas de la máscara se deberían dejar secar al aire. Se debería evitar que estén expuestas a un calor radiante o a corrientes de aire, pero se las podría meter en un armario secador especial. Habría que cuidar de que la temperatura a que se ponen a secar las piezas de caucho sea inferior a 50° C, para que no se pongan quebradizas. No se debería volver a montar las máscaras mientras las piezas no estén completamente secas.

Lugares para guardar las máscaras

Una vez limpias y secas, las máscaras deberían ser guardadas en armarios donde queden protegidas del polvo o en sus propios estuches hasta que haya que entregarlas nuevamente a los trabajadores. Los locales donde se guardan las máscaras deberían ser frescos y secos, y no debería haber en ellos ni gases ni vapores que puedan estropear las máscaras o los filtros. Además, las máscaras deberían estar protegidas de los rayos del sol y de todo calor radiante, de manera que no se las debería guardar cerca de un horno o de un aparato de calefacción central.

Control de los filtros

Para que la resistencia a la respiración de las máscaras y de los filtros que se limpian y se vuelven a utilizar siga siendo débil

durante el mayor tiempo posible conviene cambiar con bastante frecuencia los filtros delanteros para partículas gruesas que suelen tener las máscaras y limpiar los filtros para partículas finas por alguno de los procedimientos siguientes:

- a) cepillándolos;
- b) golpeándolos ligeramente;
- c) lanzando o aspirando aire limpio a través de ellos, de ser preciso con un aparato apropiado de limpieza y control.

El polvo retenido en el filtro se debe expulsar de él haciéndolo salir por el lado por el que ha penetrado. Si se utiliza para esto un aparato de limpieza y control se deben seguir las instrucciones que para su utilización da el fabricante. Si no se utiliza uno de estos aparatos y se limpian los filtros golpeándolos ligeramente o cepillándolos, habría que limpiarlos delante de una campana de aspiración. El aire comprimido utilizado para la limpieza de los filtros debe estar completamente libre de agua y de aceite, de manera que convendrá disponer de un filtro para aceite. En algunos casos se desinfectan los filtros en un autoclave con vapor a 120° C, pero este procedimiento, además de ser muy complicado, puede estropear un poco algunos filtros. En cuanto a la desinfección de los filtros con formol cabe señalar que no siempre resulta suficiente. Se considera preferible cambiar el filtro cuando haya que hacerlo. Una vez limpios los filtros se debería verificar si la válvula de espiración sigue cerrando herméticamente.

Los filtros que ofrecen una resistencia excesiva a la respiración se deberían dejar de utilizar, de manera que se debería verificar la resistencia de los filtros cada vez que se los limpia, lo cual se puede hacer con un manómetro. Si se advierte que la resistencia del filtro a la respiración ha aumentado demasiado no se lo debe volver a utilizar. Asimismo, si se advierte que la resistencia de un filtro utilizado varias veces no ha aumentado o es inferior a la que normalmente debería ofrecer, quiere decir que está estropeado y que se lo debe cambiar por otro.

Las máscaras estropeadas no deberían ser reparadas por las personas encargadas de su limpieza y verificación, sino que habría que dejar de utilizarlas o habría que devolverlas al fabricante para su reparación.

VIGILANCIA

Si se lleva un fichero en el que se indiquen para cada máscara la fecha de adquisición, las fechas en que ha pasado de manos de un trabajador a manos de otro, las fechas de desinfección y las fechas de reparación y de cambio de piezas se reducirán los gastos que entraña el suministro de máscaras a los trabajadores y será mayor la eficacia de los aparatos.

La eficacia de las medidas de protección individual depende de que el personal comprenda o no comprenda su naturaleza y su objeto. Por consiguiente, las personas encargadas de la lucha contra el polvo deben explicar bien a los trabajadores el peligro que entraña la inhalación de polvo y todo lo relativo a las máscaras, ya sean de filtro, ya de aire comprimido. También se ha comprobado que conviene enseñar a los trabajadores en el propio lugar de trabajo cómo se colocan y utilizan los filtros que ellos mismos pueden cambiar. Se debe insistir siempre en lo mucho que protegen las máscaras contra el polvo nocivo en las circunstancias en que efectúan su labor los trabajadores interesados.

CAPÍTULO XVI

MUESTREO, MEDICIÓN Y ANÁLISIS DEL POLVO EN SUSPENSIÓN EN EL AIRE

OBJETO DE ESTAS MEDIDAS

Si se quiere proteger eficazmente a los trabajadores contra el polvo hay que obtener primeramente todos los datos posibles respecto del polvo en suspensión en el aire, para lo cual es preciso tomar muestras y hacer mediciones y análisis. Tanto para determinar qué medidas de prevención y supresión del polvo hay que tomar en un lugar determinado como para verificar la eficacia de las medidas tomadas será preciso averiguar la clase de polvo en suspensión, su cantidad y las propiedades físicas y químicas que lo hacen nocivo. Más concretamente deberán tenerse en cuenta:

- a) la concentración del polvo;
- b) las características del polvo:
 - i) composición por tamaños de partículas;
 - ii) composición mineralógica;
 - iii) forma de las partículas.

La toma de muestras, las mediciones y los análisis proporcionarán los datos necesarios para determinar la exposición general al riesgo coniótico en diferentes ocupaciones mineras, la cantidad de polvo que se produce al efectuar determinadas operaciones, las diferencias en la cantidad de polvo que se produce durante un turno de trabajo, las rocas y los minerales más peligrosos y la eficacia de las diferentes medidas de prevención.

Concentración del polvo

En la práctica, puede haber un grado de concentración del polvo en suspensión en el aire por debajo del cual se pueda considerar que la presencia de ese polvo no entraña un peligro, pero la verdad es que por mucho que se ha tratado de establecer «umbrales» universalmente aceptados para las diferentes clases de polvo que se encuentran en las minas hasta ahora no se ha llegado a un acuerdo. Una de las dificultades con que se tropieza para la medición exacta de las concentraciones de polvo deriva de los diferentes criterios con que se las calcula, que varían según la clase de instrumentos empleados para la toma de muestras. Por ejemplo, dos de los criterios más corrientes son el peso (en mg/m^3) y el número (en partículas por centímetro cúbico). Es difícil establecer una relación entre estos dos valores, ya que siendo el peso el mismo puede ser muy diferente el número de partículas de polvo, según la proporción de partículas de uno u otro tamaño. Tratándose de polvo de cuarzo sería más útil conocer la superficie de las partículas, pero con los instrumentos de medición de que actualmente se dispone para la toma de muestras de polvo en grandes cantidades no se la puede medir con exactitud.

En los últimos tiempos se tiende mucho (sobre todo cuando se trata de polvo de carbón) a considerar el peso como el criterio más adecuado para los muestreos regulares, siempre y cuando no se tengan en cuenta sino las partículas respirables, de menos de 5 micrones.

Composición del polvo por tamaños de partículas

Para efectuar mediciones más exactas es importante conocer la composición del polvo por tamaños de partículas, lo cual presenta bastantes dificultades.

Como la forma de las partículas de polvo es irregular, no se puede determinar su tamaño por el de un único diámetro. Se pueden utilizar varios diámetros calculados, que dependerán de la elaboración estadística de cierto número de valores ponderados.

Para determinar las dimensiones de las partículas hay que utilizar un microscopio óptico con un poder separador de hasta alrededor de 0,2 de micrón, y para partículas más pequeñas un microscopio electrónico.

Las dimensiones de las partículas de polvo que se encuentran en el fondo de las minas suelen ser de entre 0,1 y 100 micrones.

También es importante la forma de las partículas. Las investigaciones acerca del comportamiento de las esferas de densidad igual a 1 g/cm³ han hecho ver que las partículas isométricas, por ejemplo, de cuarzo, de carbonatos o de pirita, sólo penetran en los alvéolos pulmonares si su tamaño no pasa de 5 micrones, y que las partículas más planas, por ejemplo, de mica, de minerales arcillosos o de carbón muy carbonizado, sólo penetran en ellos si su tamaño no pasa de 10 micrones. Cabe asimismo señalar que las partículas planas permanecen más largo tiempo en suspensión en el aire que las partículas isométricas de igual peso, por lo que es probable encontrarlas en el aire en mayor cantidad.

Si se toman muestras de aire cargado de polvo que ha sido respirado y luego expulsado de los pulmones y se hacen las mediciones pertinentes se advierte que no todas las partículas de dimensiones inferiores a las anteriormente indicadas quedan retenidas en los pulmones, sino que parte de ellas son expulsadas nuevamente, dependiendo la cantidad expulsada de las dimensiones de las partículas. La capacidad de retención de los pulmones se puede representar gráficamente (véase la figura 111), y en la gráfica que la representa se puede ver que la capacidad de retención es máxima para las partículas de entre 1 y 2 micrones, aproximadamente, y disminuye rápidamente por debajo y por encima de esos límites.

Pero aun antes de que las partículas sean inhaladas se producen cambios en la composición del polvo por tamaños de partículas, los cuales dependen de la distancia a que está el punto de origen del polvo y de la velocidad del aire y que son el resultado de la natural sedimentación de las partículas según su forma y su densidad. La velocidad de sedimentación, que es la máxima cuando el aire no se mueve, disminuye en el caso de las partículas más grandes si aumentan la velocidad y la turbulencia del aire.

También debe tenerse en cuenta que el polvo no sólo está compuesto de partículas aisladas, sino también, en muchos casos, de aglomeraciones o aglutinaciones de partículas. La aglomeración se debe principalmente a la fuerza de atracción que existe entre las partículas. Cuando las partículas que los pulmones pueden retener constituyen conglomerados de más de 10 micrones en total se los puede considerar no peligrosos para la salud. Se debe recordar que algunos aparatos de medición desaglomeran las partículas y se pueden obtener con ellos resultados inexactos.

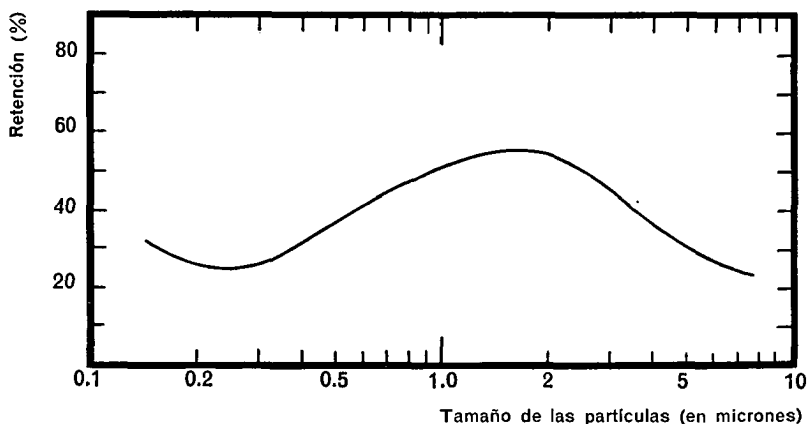


FIG. 111. — Retención alveolar de las partículas de densidad igual a 1 g/cm³.

Composición mineralógica

Además del grado de concentración del polvo, de su composición por tamaños de partículas y de la forma de las partículas, conviene determinar la composición mineralógica del polvo, que es especialmente importante desde el punto de vista de la higiene del trabajo. Para determinar el riesgo de silicosis es de suma

importancia averiguar el contenido de sílice cristalina del polvo de que se trata, ya que es la principal causante de esa enfermedad.

Sílice cristalina son el cuarzo, la tridimita y la cristobalita. De estas variedades, únicamente el cuarzo se encuentra en cantidad considerable en las minas de carbón (en mayor cantidad en la roca de caja y en cantidades variables en las capas de carbón). El cuarzo es la causa principal de la silicosis; otros minerales, como la mica, la arcilla, el carbón, las piritas, la ilmenita, la siderita y la ankerita, no unidos al cuarzo son mucho menos peligrosos. No obstante, si estos minerales contienen cuarzo, aunque sea en pequeñas cantidades, pueden dar origen a una silicosis o acelerar su evolución, ya que se fijan y se acumulan en los pulmones y además actúan como catalizadores.

Componentes no minerales

Además de los componentes minerales, el polvo de las minas contiene otros elementos, como partículas de hollín, pequeñísimas gotas de aceite y si la humedad relativa es elevada pequeñísimas gotas de agua, y materias orgánicas, tales como bacterias y otros microorganismos, algunos de los cuales son arrastrados al interior de la mina por el aire procedente del exterior. Estos componentes no minerales del polvo no tienen importancia desde el punto de vista de las neumoconiosis.

Factores que influyen en los resultados de las mediciones

Para determinar exactamente cuál es la situación en una mina por lo que al polvo se refiere hay que tener en cuenta que, por regla general, la composición mineralógica, la estructura y el grado de dureza de las capas de carbón y de la roca circundante pueden variar. También varían las condiciones de ventilación y muchas otras circunstancias. Como de estos factores es de los que dependen la composición del polvo por tamaños de partículas y la concen-

tración y la composición del polvo, se deberían hacer repetidas mediciones durante largo tiempo para poder obtener promedios significativos.

Lo ideal sería que el instrumento de muestreo retuviera las partículas en iguales proporciones que el pulmón humano, exactamente, señalando así las más peligrosas. Varios investigadores han tratado de determinar en cifras esta capacidad de retención de los pulmones, que es probablemente de 100 por ciento para las partículas de 1 micrón, de 50 por ciento para las partículas de entre 3 y 5 micrones y de 0 para las partículas de más de 6 o 7 micrones. En la práctica, todos los instrumentos existentes tienen sus inconvenientes. Por ejemplo, los que se basan en el principio de la colisión tienden a deshacer las aglomeraciones de partículas, de manera que los resultados de las mediciones pueden ser falsos. También está por resolver la tan discutida cuestión del límite inferior, ya que el recuento de las partículas muy finas está limitado por el poder separador del microscopio óptico (de hasta alrededor de 0,2 de micrón), si bien algunos investigadores afirman que el poder de retención de los pulmones disminuye para las partículas de menos de 1 micrón, lo cual resta importancia a este inconveniente de los microscopios ópticos.

Al elegir el sistema de muestreo es necesario decidir primeramente si la medición se ha de basar en el peso de las partículas en suspensión en el aire o en el número de partículas de tamaños que se consideran peligrosos.

Sea como fuere, se deben tener en cuenta las características particulares de los diferentes instrumentos y procedimientos de muestreo. Las diferencias que en esto existen van en detrimento de la comparabilidad de los resultados. No sólo los distintos instrumentos tienen una capacidad de retención diferente, sino que también es diferente su selectividad. Con un ejemplo concreto se lo comprenderá mejor. En una serie de ensayos se tomaron, al mismo tiempo y en el mismo lugar, con dos instrumentos diferentes, un precipitador térmico y un conímetro, muestras del polvo que se desprendía al efectuar diferentes operaciones en el fondo de una mina, obteniéndose los siguientes resultados:

| Operación | Concentración del polvo (en número de partículas) | |
|-----------|--|-----------|
| | Precipitador térmico | Conímetro |
| 1 | 1.230 | 182 |
| 2 | 360 | 87 |
| 3 | 440 | 103 |
| 4 | 490 | 85 |
| 5 | 370 | 118 |
| 6 | 350 | 89 |
| 7 | 210 | 66 |
| 8 | 240 | 217 |
| 9 | 380 | 161 |

Como podrá observarse, los resultados obtenidos con el precipitador térmico indicaron que las operaciones 1 y 4 eran las más peligrosas para la salud, mientras que los obtenidos con el conímetro indicaron que la más peligrosa era la operación 8.

Principios fundamentales

Tanto en el plano internacional como en el nacional se ha prestado gran atención no sólo a las diferentes clases de datos que se necesitan para la prevención y la supresión del polvo, sino también a la manera de obtenerlos. De los elementos materiales que se necesitan para la toma de muestras, la medición y el análisis se hablará más adelante. Las reglas generales que en estas operaciones se deben seguir han sido resumidas por diversos grupos de expertos de la manera siguiente:

1. Se deberían tomar muestras del polvo en suspensión en el aire en todos los lugares de trabajo y las vías de circulación, con toda regularidad, para medir la concentración del polvo y analizar las partículas. Los resultados de las mediciones se deberían expresar

como concentraciones medias del polvo durante un período adecuado de muestreo.

2. Todas las empresas mineras, de perforación de túneles y de explotación de canteras deberían establecer instrucciones acerca de los métodos de muestreo, medición y análisis, de los lugares y los momentos en que se deben tomar las muestras y la frecuencia con que se las debe tomar, y de los instrumentos que para ello se han de utilizar.

3. El muestreo, los recuentos, las mediciones y los análisis deberían ser efectuados por personal especializado.

4. Los resultados de todos los muestreos, de todas las mediciones y de todos los análisis deberían ser registrados y conservados, manteniéndolos a la disposición de los inspectores.

Todas estas cuestiones serán examinadas en este mismo capítulo.

TOMA DE MUESTRAS

A. Instrumentos

En las minas y las industrias similares se utilizan muy diferentes instrumentos para tomar muestras del polvo en suspensión en el aire y hacer las mediciones, los cuales se pueden dividir en seis grupos, con arreglo a los principios de funcionamiento de cada uno de ellos:

- a) la sedimentación;
- b) la medición óptica;
- c) la precipitación por colisión;
- d) la filtración;
- e) la precipitación eléctrica;
- f) la precipitación térmica.

En principio, las muestras de casi todas las clases de polvo deben comprender únicamente partículas respirables, y los instrumentos de toma de muestras deberían estar provistos de

dispositivos de selección (por ejemplo, cámaras de sedimentación), para eliminar las partículas no respirables. Hay algunas clases de polvo, como el de cromita o el de los minerales de uranio, de las cuales suele haber que tomar muestras completas, en que estén comprendidas las partículas de todos los tamaños, porque también pueden tener efectos nocivos para otros órganos, además de los pulmones. La longitud de las partículas del asbesto, que son aciculares, puede llegar a ser de más de 40 micrones, y hasta ahora no se han empleado cámaras de sedimentación para su muestreo.

En esta sección se describirán instrumentos adecuados para la toma de muestras en el fondo de las minas, pero solamente los que más se utilizan.

Instrumentos basados en el principio de la sedimentación

En los instrumentos basados en el principio de la sedimentación, las partículas de polvo se depositan sobre láminas de vidrio. Este método se emplea únicamente para mediciones aproximadas. Las láminas de vidrio, sin ninguna preparación o recubiertas con un adhesivo (por ejemplo, vaselina o aceite de madera de cedro), se exponen, en posición horizontal o inclinada, a la corriente de ventilación durante un período de entre 1 y 30 minutos, según la concentración del polvo. Este método de toma de muestras presupone concentraciones de polvo bastante grandes, el menor movimiento posible del aire y un largo período de muestreo, ya que debido a su reducida velocidad de sedimentación únicamente se deposita una pequeña parte de las partículas respirables. Por consiguiente, este método sólo se emplea para un análisis mineral aproximativo y para descubrir la existencia de aglomeraciones bastante grandes de partículas.

Tubos ramurados para toma de muestras.

Existe otro tipo de instrumentos para toma de muestras por sedimentación basado en el principio de que si una corriente lami-

nar de aire cargado de polvo pasa por un tubo horizontal de sección rectangular, el polvo se va depositando regularmente sobre el fondo, según la velocidad de caída de las partículas. Si se abre una ranura en el fondo del tubo, el polvo que cae se puede recoger en una placa giratoria y se puede medir su concentración en ella según el tiempo transcurrido. Este instrumento puede funcionar durante varios días sin exigir cuidado alguno. Lleva consigo una bomba de velocidad constante que se hace funcionar con un acumulador, y se puede montar en él un filtro a fin de recoger para su análisis la mayor parte de las partículas respirables captadas.

Instrumentos ópticos

Existe un instrumento para la toma de muestras y las mediciones de rutina llamado tyndaloscopio, que fué inventado por el físico Tyndall hace cerca de cien años y con el que se determina la cantidad de polvo que hay en el aire por observación de la dispersión de un haz luminoso por el polvo en suspensión. El haz luminoso atraviesa una cámara cuyas paredes son de vidrio negro, en la que es dispersado por las partículas de polvo. La dispersión se observa con microscopio en ángulo de 30 grados. El haz ilumina la mitad del campo del ocular; la otra mitad se ilumina por medio de un prisma giratorio. Regulando los prismas Nicol se puede reducir la iluminación, dando la misma luminosidad a todo el campo del ocular. El ángulo de rotación del prisma que se necesita está indicado por un cuadrante graduado de 0 a 30 grados con una exactitud de $\pm 0,1$ de grado. La calibración se efectúa con una fuente luminosa normalizada. Si se pasa de la escala de medición se pueden insertar prefiltros que absorban la luz.

La intensidad de la luz dispersada por las partículas de menos de un micrón es proporcional a la superficie de las partículas, mientras que las partículas de algo más de un micrón dan valores más elevados que los que corresponden a su superficie. Además, el índice de refracción de las partículas influye también en los resultados, de manera que para las partículas de polvo de roca y de carbón, por ejemplo, aparecen valores diferentes. Algunos

técnicos expresan estos valores sin tener en cuenta las dimensiones, mientras que otros los expresan en mg/m^3 , lo cual permite hacer una evaluación aproximativa.

Una de las ventajas del procedimiento de medición óptica es la de que al efectuar la operación no se modifican las condiciones en que se encuentra el polvo; además, el instrumento es fácil de manejar y la concentración del polvo se mide directamente.

Como la neblina y las pequeñas gotas de agua también dispersan la luz, lo cual puede falsear los resultados, se ha ideado un pequeño aparato que permite calentar la cámara del tyndaloscopio.

Estos instrumentos de medición óptica tienen el inconveniente de que no se puede confiar en los resultados obtenidos si no se poseen otros datos acerca de la composición mineralógica y de la concentración del polvo. Si se puede establecer que la composición mineralógica del polvo cuya concentración se está midiendo y su composición por tamaños de partículas son invariables, las cifras indicadas por el instrumento serán proporcionales al número, a la masa y a la superficie de las partículas respirables de más de medio micrón.

En las operaciones mineras que se efectúan en algunos tipos de rocas se pueden desprender clases de polvo que contienen una proporción más o menos fija de partículas finas. Es más probable que esto ocurra cuando se trabaja en rocas blandas que cuando se trabaja en rocas duras, y parece que es lo que suele suceder en el caso del polvo de carbón. No obstante, en las rocas duras, como la cuarcita, es probable que el número de partículas finas sea más variable. También cabe la posibilidad de que los resultados de las mediciones resulten falseados por la presencia de humo de locomotoras diesel, de neblinas aceitosas o de agua pulverizada procedente de los martillos perforadores.

Instrumentos basados en el principio de la colisión

En los instrumentos basados en el principio de la colisión, el aire cargado de polvo es lanzado en forma de chorro contra un obstáculo. El cambio súbito de dirección de la corriente de aire

al chocar contra ese obstáculo y la inercia de las partículas hacen que éstas caigan, y al caer se las recoge sobre una placa o en un líquido.

El midget-impinger.

El midget-impinger es un aparato inventado en Estados Unidos que se utiliza mucho para la toma de muestras de polvo (véase la figura 112).

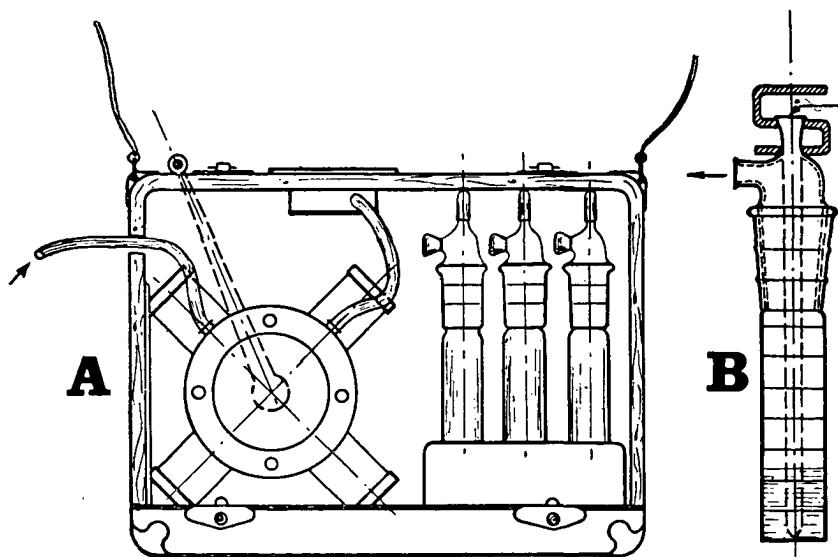


FIG. 112. — Midget-impinger.

A: Bomba de aspiración del aire. B: Recipiente colector del polvo.

Para tomar la muestra se utiliza una bomba que se hace funcionar a manivela o eléctricamente, que aspira el aire en cantidad determinada durante un período de entre 10 y 20 minutos. El aire sale del orificio a gran velocidad, choca contra el fondo del

recipiente, asciende a través de la columna de líquido en fuerte borboteo y sale por el tubo de salida. Las partículas de polvo quedan retenidas en el líquido cuando chocan contra el fondo del recipiente o al atravesar el líquido mismo. El aire es aspirado a razón de 3 l/min y sale por el orificio a una velocidad de 60 m/s. Como se conoce la cantidad de aire aspirado, la concentración del polvo se puede calcular, por recuento o por pesaje, una vez evaporado o filtrado el líquido colector. La eficacia del instrumento es mucho menor para la captación de las partículas de menos de un micrón, de manera que su utilidad es un tanto limitada.

Como en este aparato la velocidad de choque es inferior a la de los instrumentos de precipitación por colisión en seco, hay muchas menos probabilidades de fractura o de pérdidas de partículas. No obstante, se pueden deshacer las aglomeraciones de partículas, lo mismo que en el conímetro, lo cual puede dar por resultado una sobreestimación del número de partículas en suspensión en el aire.

El midget-scrubber.

Otro instrumento basado en el principio de la colisión es el midget-scrubber, en el cual el aire es violentamente agitado por un líquido lavador. El líquido es aspirado hacia una pequeña cámara cilíndrica en la cual se produce una fuerte turbulencia con la cual se obtiene una purificación completa. El volumen de aire es de 6 l/min, aproximadamente. Las partículas de tamaño inferior a 0,2 de micrón no son captadas.

Los dos instrumentos que se acaban de describir tienen la ventaja de que captan durante un largo período de tiempo una cantidad de polvo bastante grande que se puede analizar, no sólo para determinar la concentración del polvo, sino también su composición. Además, el hecho de que la velocidad de aspiración es superior a la velocidad de la corriente de ventilación facilita la medición cuantitativa de las partículas gruesas. Sin embargo, tienen el inconveniente de que se necesita un inyector para darles aire comprimido o bien una bomba de vacío.

Estos instrumentos deben ser manejados con el mayor cuidado. Rompen las aglomeraciones de partículas en suspensión, separando las partículas componentes, de modo que a veces se calcula un número de partículas superior al que realmente existe en el aire.

El pre-impinger.

El aparato denominado pre-impinger ha dado buenos resultados para el muestreo de las partículas gruesas no respirables. El recipiente esférico de cristal de este aparato tiene una abertura de entre 4 y 6 mm de ancho, cuyo eje tiene una inclinación de 45 grados. Este recipiente contiene agua, petróleo o alcohol isopropílico que llegan hasta la mitad. La capacidad de captación del aparato depende del diámetro de la abertura del recipiente, de la cantidad de aire aspirado, del líquido purificador y del peso específico de las partículas de polvo. Se lo ha utilizado con buenos resultados como selector de tamaños para el midget-impinger y el midget-scrubber.

Si se combinan el pre-impinger y el midget-impinger se pueden separar muy bien las partículas de polvo en partículas respirables y no respirables, por su tamaño. Se ha comprobado que para lograr la mejor separación posible de las partículas por sus tamaños se deben dar las siguientes condiciones:

volumen de aire: 6 l/min;

diámetro exterior del recipiente: 30 mm;

diámetro de la abertura del recipiente: 4,2 mm;

líquido purificador: alcohol isopropílico.

Con esta combinación del pre-impinger y el midget-scrubber, las partículas de polvo precipitadas en el midget-scrubber corresponden casi exactamente a la composición del polvo por tamaños de partículas en la región alveolar de los pulmones. Al ir disminuyendo el tamaño de las partículas va aumentando el porcentaje de las retenidas en el midget-scrubber, mientras que las partículas de menos de 0,2 de micrón no son captadas.

Los conímetros.

El conímetro consiste en una bomba aspirante accionada por distensión de un resorte, que lanza a gran velocidad el chorro de aire cargado de polvo contra una lámina de cristal recubierta de una substancia adhesiva. Por regla general, a esta lámina se la puede hacer girar, lo cual permite tomar varias muestras. Debido a la inercia, las partículas de polvo no siguen el cambio súbito de dirección de la corriente de aire, y forman sobre el cristal una mancha que se puede examinar con el microscopio.

Existen muchos tipos de conímetros; uno de los primeros que se han fabricado ha sido el Kotzé, que se ideó en Sudáfrica. A este primer modelo se han preferido luego otros tipos de conímetros, especialmente el llamado Witwatersrand, y los Zeiss y Sartorius (Bergbau-Konimeter). También existen los conímetros Haslam y varios otros de origen norteamericano y japonés.

Para los trabajos subterráneos, el conímetro presenta grandes ventajas prácticas. Puede ser un aparato muy resistente, con piezas sencillas, fuertes y bien protegidas. Sobre una misma lámina de cristal se pueden tomar gran número de muestras sin necesidad de abrir el aparato. El volumen de aire de la muestra es relativamente grande, de manera que aunque sea débil la concentración de polvo se obtiene un depósito suficientemente denso para hacer el recuento. Es un aparato manuable, y una vez cargado se lo puede utilizar en cualquier momento.

Los conímetros tienen también grandes inconvenientes, el más importante de los cuales es el de que su eficacia varía según las circunstancias. Los resultados que se obtienen con los distintos tipos de conímetros son muy diferentes. Entre sus otros inconvenientes están la tendencia a deshacer las aglomeraciones de partículas debido a la gran velocidad de choque y lo difícil que es la evaluación del denso depósito obtenido con grandes concentraciones de polvo (por ejemplo, las producidas por las voladuras). Dada la rapidez con que se toma la muestra (0,1 de segundo, aproximadamente), sólo se obtienen valores instantáneos que pueden ser muy diferentes de los valores medios. Además, la

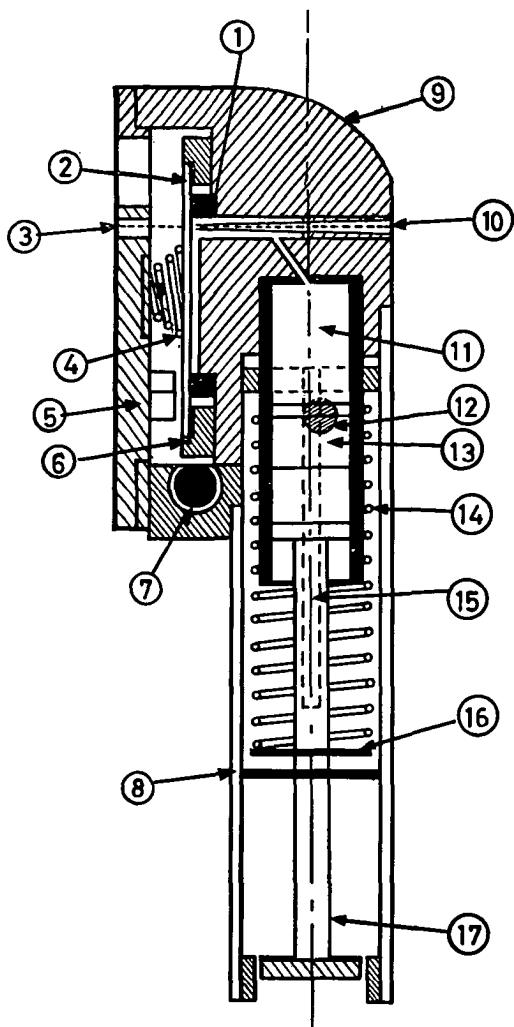


FIG. 113. — Sección vertical de un conímetro Witwatersrand.

1: Anillo de caucho. 2: Lámina de vidrio. 3: Orificio de observación del chorro de aire. 4: Resorte de fijación de la lámina de vidrio. 5: Placa exterior. 6: Portaláminas. 7: Vástago de la manivela con que se hace girar el portaláminas. 8: Cuerpo del cilindro. 9: Cabeza del aparato. 10: Entrada del chorro de aire. 11: Cilindro. 12: Disparador. 13: Pistón. 14: Resorte del pistón. 15: Vástago del pistón. 16: Guía del pistón. 17: Barra impulsora.

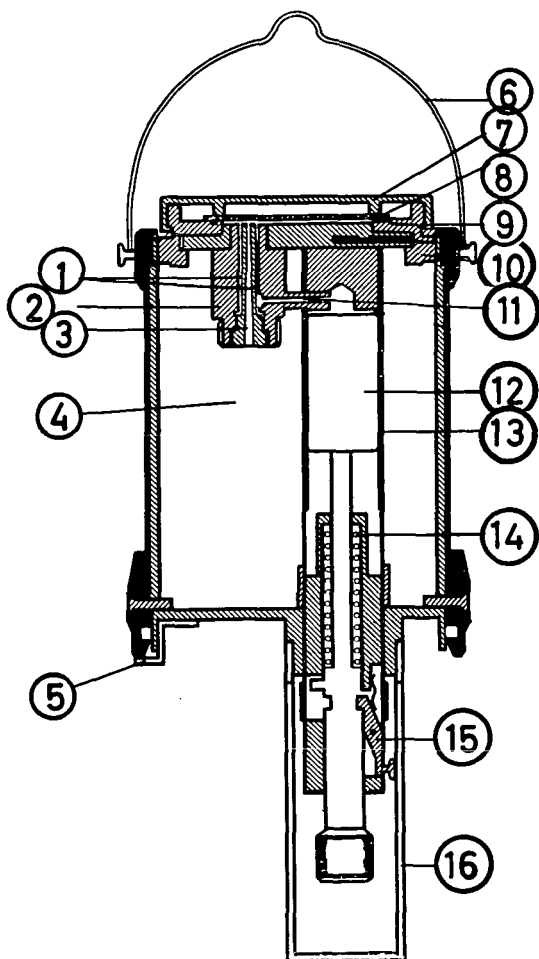


FIG. 114. — Bergbau-Konimeter.

1: Abertura anular del conducto de aspiración. 2: Encaje del tubo de aspiración. 3: Conducto de aspiración cónico. 4: Cámara de sedimentación. 5: Contador de muestras. 6: Agarradera para el transporte del aparato. 7: Cubierta. 8: Lámina de vidrio en que se pueden recoger 36 muestras. 9: Anillo de hermeticidad. 10: Anillo de ajuste. 11: Canal de entrada del cilindro. 12: Pistón de acero. 13: Cilindro. 14: Resorte del pistón. 15: Disparador. 16: Recubrimiento del aparato.

cantidad de polvo captada depende en gran medida de la naturaleza y del espesor de la película adhesiva.

Los conímetros no son los instrumentos adecuados para hacer mediciones muy exactas, pero son de gran utilidad cuando se los utiliza junto con otros instrumentos que proporcionan datos más precisos sobre la naturaleza de las concentraciones de polvo o, por ejemplo, para determinar la relación roca-carbón cuando se hacen los cálculos con el tyndaloscopio¹.

Las piezas más características del conímetro Witwatersrand son la cabeza y el cuerpo del cilindro de aluminio resistente (véase la figura 113). Dentro del cuerpo cilíndrico del aparato hay un dispositivo de aspiración consistente en un pistón de acero movido por un resorte dentro de un cilindro de latón, con un disparador. Su capacidad es de 5 cm³ y la velocidad del aire de 75 m/s. Cuando se dispara el pistón, el aire pasa por el conducto y va a chocar contra una lámina de vidrio donde queda retenido el polvo, que forma en ella una pequeña mancha. Se logra la impenetrabilidad al aire mediante una arandela de caucho aplicada contra la lámina de vidrio, que se mantiene en su sitio con una cubrejunta y un resorte. El portaláminas está graduado y se lo puede hacer girar, lo cual permite recoger hasta 50 manchas sin necesidad de abrir el instrumento.

El conímetro Zeiss (véase la lámina X), que se utiliza en las minas de la República Federal de Alemania, consiste en una bomba aspirante movida por distensión de un resorte y cuya capacidad puede ser de 1 cm³, de 2,5 cm³ o de 5 cm³, que lanza el aire cargado de polvo, a una velocidad aproximada de 100 m/s, sobre una lámina redonda de vidrio con 30 o 36 divisiones que se puede hacer girar frente al chorro de aire.

El conímetro Sartorius, llamado asimismo Bergbau-Konimeter, que también se utiliza en las minas de carbón de la República Federal de Alemania, tiene una cámara de sedimentación suplementaria (véanse la figura 114 y la lámina X). Esta cámara está abierta por debajo y recoge el aire cargado de polvo. Se cierra la

¹ Véase página 381.

cámara y se deja pasar el tiempo necesario para la sedimentación de las partículas del tamaño deseado (60 segundos para las partículas de más de 5 micrones). Sin embargo, con este aparato no se puede hacer una diferenciación muy precisa en el tamaño de las partículas, ya que durante el período de espera también se depositan partículas más pequeñas fuera de la zona de aspiración del conducto. Las muestras se examinan de la misma manera que cuando se utiliza un conímetro ordinario.

La abertura del conducto de aspiración de los conímetros Zeiss es redonda y la de los conímetros Sartorius anular.

Instrumentos de filtración

Se han utilizado en otras épocas diversos instrumentos, que aún actualmente se utilizan, en los que hay un elemento filtrante que retiene el polvo. Se extrae el polvo del filtro y se lo pesa, por lo general, de modo que se trata de un método gravimétrico. Estos instrumentos de filtro se emplean a menudo para recoger muestras para el análisis mineralógico.

Existen muchos tipos de instrumentos de filtro, pero son pocos los que se utilizan en las minas, entre otras razones porque es difícil examinar con microscopio el polvo recogido por la mayor parte de los materiales de filtro existentes, de manera que sólo se pueden obtener valores gravimétricos o una evaluación comparativa al opacímetro. Además, con este tipo de instrumentos se subestima la cantidad de partículas de menos de 5 micrones. Por otra parte, al recoger el polvo para su análisis mineralógico se suele tropezar con el inconveniente de que las partículas no se desprenden bien del filtro. Más aún, al aumentar la cantidad de polvo aumenta también notablemente la resistencia del filtro, y por lo tanto cambia su permeabilidad a las partículas más finas. Este método es de gran utilidad, con filtros de membrana, para la captación de partículas radiactivas que emiten rayos alfa, porque penetran poco en la membrana del filtro y hay menos absorción de la radiación.

Instrumento de toma de muestras Le Bouchet.

El instrumento de toma de muestras Le Bouchet tiene un filtro de tetracloronaftaleno soluble en bencina. En una prensa de husillo se le da al filtro un espesor uniforme del cual depende su rendimiento, pero que al mismo tiempo acrecienta su resistencia a la corriente de aire. El aire es aspirado a través de un inyector incorporado al aparato. La cantidad de aire aspirada se mide con un manómetro diferencial, y un vacuómetro indica el aumento de la resistencia del filtro en relación con la cantidad de polvo, con lo cual se puede calcular la cantidad de polvo depositado en el filtro.

Colector de polvo CERCHAR.

El principio de funcionamiento de los colectores CERCHAR (*Centre d'études et de recherche des charbonnages de France*) es el mismo que el de los aparatos Le Bouchet. No necesitan ninguna fuente de energía exterior para crear la corriente de aire y el portafiltro está perfeccionado. Las membranas filtrantes tienen poros de alrededor de 0,2 de micrón de diámetro. Los portafiltros se pueden cambiar fácilmente, de manera que se pueden tomar varias muestras.

Filtro Göthe.

El aparato Göthe es un instrumento con el que se recogen cantidades de polvo bastante grandes. El filtro es de papel y en forma de cesta, pesa unos 45 g y tiene dos sondas, la una al lado de la otra (véase la lámina X). El aire cargado de polvo puede circular libremente a través de una sonda; la segunda sonda está enfrente del filtro, a presión inferior. Ambas sirven para medir la velocidad y están conectadas con un fluidímetro. El eyector, que funciona con aire comprimido, está regulado de manera que el anemómetro marca cero. De este modo la velocidad de circulación en la sonda de aspiración se puede mantener igual a la velocidad de la corriente de ventilación.

Filtro Füssel.

El filtro Füssel es un aparato que deriva del filtro de membrana. Tiene una membrana de nitrocelulosa de gran capacidad de retención, incluso para las partículas más pequeñas. A través de un dispositivo de aspiración provisto de un filtro de membrana de 47 mm de diámetro se aspira una cantidad de aire predeterminada, regulándose la resistencia del filtro con ayuda de un vacuómetro. Con este aparato se pueden aspirar hasta 40 l/min de aire. El vacío es constante, y por lo tanto la cantidad de aire aspirado disminuye a medida que aumenta la resistencia del filtro debido al depósito del polvo.

Todos los instrumentos de filtro que se acaban de describir tienen que recibir aire comprimido. Por regla general, se necesitan varias horas para tomar la muestra recogiendo la cantidad de polvo suficiente para el análisis mineralógico y la determinación del tamaño de las partículas. Con el filtro Göthe se pueden recoger entre 5 y 10 g de polvo, mientras que la cantidad que se recoge con los otros dos instrumentos puede ser de menos de 1 g.

Bomba de mercurio Zurlo.

La bomba de mercurio Zurlo es un aparato filtrante que no necesita recibir aire comprimido del exterior; el paso de una cantidad determinada de mercurio de un recipiente a otro crea una fuerza aspirante correspondiente a determinado volumen de aire. Este aparato tiene una membrana filtrante miliporo de nitrocelulosa. No es de gran tamaño y es fácil de utilizar en todas las condiciones que es probable encontrar.

Bomba a mano P.R.U.

Este conocido aparato ha sido ideado por el Servicio de Investigaciones sobre las Neumoconiosis (*Pneumoconiosis Research Unit*) del Reino Unido. El aire aspirado a través de un filtro de papel deja en él una mancha cuya opacidad es proporcional a la cantidad de polvo retenida. La medición se hace con un opa-

címetro (el grado de absorción de la luz depende de la cantidad de polvo depositado). Es indispensable que el polvo examinado sea uniforme, porque el instrumento se calibra de acuerdo con las características del polvo que se trata de analizar.

Como la calibración de este tipo de aparatos es difícil y los resultados de las mediciones no suelen ser muy dignos de confianza, para las tomas de muestras que se hacen corrientemente en las minas se recurre a métodos más científicos.

Bomba a mano Dräger.

Con la bomba Dräger, que es un instrumento más moderno, se pueden contar las partículas de polvo. Es una bomba de fuelle (extendido por un resorte) que aspira 100 cm³ de aire. La bomba está provista de orejetas de metal sobre las cuales se extiende un filtro de membrana. Los filtros tienen unos 20 mm de diámetro, son bastante compactos y el diámetro de los poros es de 0,2 de micrón. Como la velocidad del aire es relativamente pequeña, las partículas de polvo se depositan sobre la superficie lisa del filtro casi en las mismas condiciones en que se hallaban en suspensión en el aire. Las pequeñas gotas de agua, de neblina o de aceite son absorbidas por el filtro y no falsean los resultados del examen. Con filtros de membrana de color verde pueden distinguirse fácilmente las partículas oscuras de carbón de las partículas claras de roca utilizando un microscopio con iluminación sobre fondo oscuro.

Filtro Soxhlet.

El filtro Soxhlet es un aparato para toma de muestras muy fácil de manejar, en el que se utilizan filtros en forma de dedal que permiten recoger una cantidad de polvo relativamente grande. El aparato tiene tres elementos principales: el recipiente del filtro, el medidor de la corriente de aire y el eyector de aire comprimido que crea la corriente necesaria.

El portafiltro (véase la figura 115) sirve de soporte al filtro mientras se está tomando la muestra, y evita toda pérdida de

polvo y protege al filtro durante el transporte. En el aparato que se ve en la figura, que es regulable, la velocidad de entrada puede ser lo más parecida posible a la velocidad de la corriente de aire exterior; para una velocidad de entre 1 y 2 m/s es conveniente un volumen de entre 700 y 1.500 l/h, que se puede medir fácilmente con un pequeño contador de gas corriente.

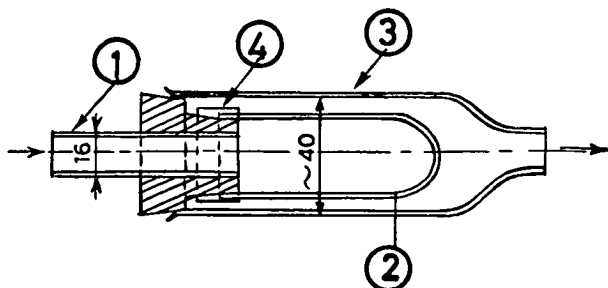


FIG. 115. — Portafiltro para filtro Soxhlet.

1: Entrada del aire. 2: Filtro. 3: Portafiltro. 4: Collar de fijación del filtro.

Instrumento de toma de muestras y selección granulométrica Hexhlet.

Las investigaciones realizadas sobre el mecanismo de la levigación han permitido construir un levigador horizontal cuyas características de selección son muy parecidas a las del sistema respiratorio humano. En el aparato Hexhlet para la toma de muestras de polvo el levigador horizontal está combinado con un filtro Soxhlet, en forma de dedal, el cual recoge una muestra representativa del polvo respirado. Este aparato tiene además una bomba de vacío o un eyector y un orificio cuyas dimensiones están calculadas para que proporcione el volumen de aire adecuado.

Si se compara la curva teórica de penetración según el tamaño de las partículas que corresponde al pulmón humano y la curva correspondiente al levigador se observa una buena coincidencia. Así, pues, esta selectividad del aparato constituye una gran ven-

taja cuando se trata de obtener muestras para el análisis de la composición del polvo inhalado, por oposición al conjunto del polvo en suspensión en el aire, del cual se toman muestras con otros instrumentos de filtración.

Aparato de Gast.

El aparato de Gast, que es portátil, se utiliza en algunas regiones mineras para la toma de muestras de polvo uranífero que se efectúa corrientemente. El aire es aspirado a través de filtros de papel de 28 mm de espesor por medio de un ventilador impelente sin lubricación con un motor eléctrico de acumulador. El aparato Gast mantiene una corriente uniforme de aire que puede llegar a 14 l/min durante un período de generalmente 10 minutos, y proporciona una muestra suficientemente grande para poder hacer el análisis químico.

Instrumentos de funcionamiento continuo

En los últimos tiempos se han inventado diferentes instrumentos de medición continua. Con estos instrumentos se puede vigilar constantemente lo que sucede en determinado lugar de trabajo en lo que atañe al polvo en suspensión y registrar con la necesaria exactitud las fluctuaciones que se producen durante un período determinado. Estos aparatos proporcionan datos más completos sobre la cantidad de polvo existente y facilitan el estudio de la cantidad de polvo que se produce en determinados tipos de trabajos.

La necesidad de disponer de instrumentos de funcionamiento continuo para tomar muestras del polvo se ha hecho mayor a consecuencia del aumento de la productividad y de la concentración de los trabajos mineros derivados de la mecanización y de otros adelantos recientes en la explotación de minas. Se necesita un aparato que funcione de modo completamente automático y durante largo tiempo sin que haya que cuidar de él, y cuyo funcionamiento no pueda ser interrumpido mientras se está tomando la muestra.

Aparato selector Coniciclo.

El aparato selector Coniciclo se caracteriza fundamentalmente por el dispositivo de toma de muestras, cuyo funcionamiento se basa en la fuerza centrífuga y que clasifica las partículas en suspensión en el aire según su velocidad terminal, es decir, que clasifica las partículas de forma y densidad análogas según su tamaño. Todas las partículas cuya velocidad terminal es superior a la determinada previamente son rechazadas, reteniéndose aquellas cuya velocidad terminal es superior a otra segunda velocidad también predeterminada e inferior a la primera. Las de velocidad terminal inferior a la segunda serán recogidas parcialmente, en medida que se puede calcular. De este modo, en teoría, el instrumento puede ser construido de modo que tenga la selectividad que corresponda en principio a la curva Hexhlet de retención de las partículas. El instrumento funciona con un acumulador y por su sólida construcción puede ser utilizado en el fondo de las minas.

En la práctica, se pueden observar en el muestreo discrepancias debidas a las variaciones en la composición del polvo y también a las variaciones de la relación peso-número de las partículas, pero este instrumento merece ser mencionado, dada la necesidad que actualmente existe de aparatos de toma de muestras de selección gravimétrica y dadas las ventajas que tiene este sistema para los muestreos que se hacen regularmente en las minas.

El SIMGARD.

El SIMGARD (*Safety in Mines Gravimetric Apparatus for Respirable Dust*) es un instrumento que ha sido ideado en el Instituto de Investigaciones sobre la Seguridad en las Minas, del Reino Unido, para recoger en el fondo de la mina, durante un turno de trabajo representativo, una muestra de polvo respirable suficiente para que se la pueda pesar y se pueda determinar su composición. El aparato no necesita una fuente de energía exterior.

Por medio de un eyector que se hace funcionar con bióxido de carbono procedente de dos cilindros de poco peso se hace pasar el aire objeto de la muestra a través de un levigador de placas

paralelas y luego a través de un filtro de membrana. Una válvula de aguja y un medidor de caudal colocados después del filtro permiten regular el volumen de aire, que puede llegar a ser de 3 l/min durante un período de hasta doce horas. Hasta una carga de 10 mg de polvo apenas cambia la resistencia del filtro, de modo que el volumen de aire permanece prácticamente constante.

El instrumento está encerrado en una caja de material sintético y pesa alrededor de 5 kg completamente cargado.

Precipitador térmico de funcionamiento continuo.

El precipitador térmico de funcionamiento continuo está basado en el mismo principio que el modelo corriente y permite tomar una muestra única a lo largo de uno o más turnos de trabajo. Una de las características de este aparato es la de no retener las partículas de más de 7 micrones. Además de reducir considerablemente el trabajo de microscopio necesario para la evaluación, se afirma que en este instrumento casi no cabe error por superposición u ocultamiento de unas partículas por otras (véase la sección de este capítulo titulada « Medición de las concentraciones de polvo »). Para el trabajo regular de muestreo está substituyendo gradualmente al instrumento corriente en muchos casos.

Aparato de toma de muestras con tubo ranurado.

El aparato de toma de muestras con tubo ranurado, que también es de funcionamiento continuo, ya ha sido descrito al hablar de los filtros de sedimentación.

Precipitadores electrostáticos

El principio de la precipitación electrostática ya ha sido descrito en el capítulo V. Los instrumentos de toma de muestras basados en este principio se pueden utilizar con buenos resultados cuando en la atmósfera no existen gases inflamables y no hay riesgo de explosión. Hay que conectarlos con una fuente de energía eléctrica. El polvo se deposita directamente en láminas de cristal que pueden

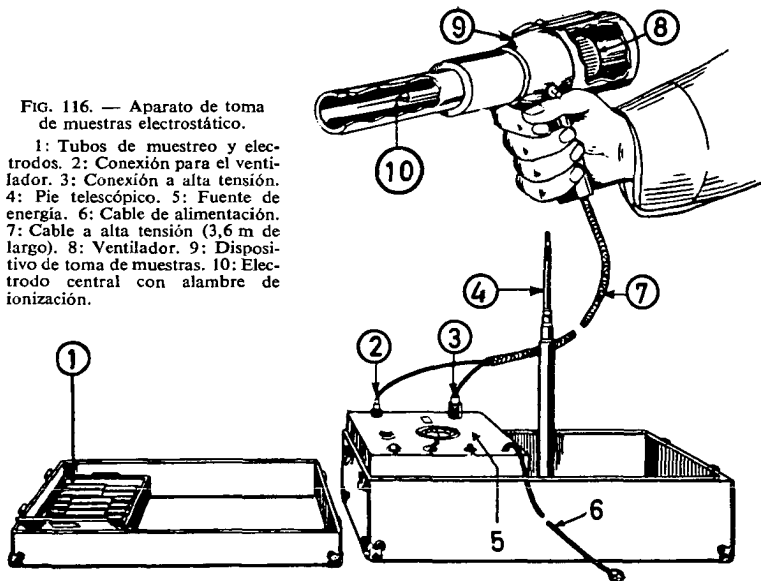
ser examinadas con el microscopio. Estos aparatos son de alto rendimiento para las partículas de menos de 5 micrones.

Aparato de toma de muestras electrostático.

Un modelo muy conocido es el aparato de toma de muestras electrostático (véase la figura 116). El dispositivo de muestreo de

FIG. 116. — Aparato de toma de muestras electrostático.

1: Tubos de muestreo y electrodos. 2: Conexión para el ventilador. 3: Conexión a alta tensión. 4: Pie telescópico. 5: Fuente de energía. 6: Cable de alimentación. 7: Cable a alta tensión (3,6 m de largo). 8: Ventilador. 9: Dispositivo de toma de muestras. 10: Electrodo central con alambre de ionización.



este instrumento consiste en un tubo de metal a lo largo de cuyo eje está fijada una varilla también de metal. El tubo es un electrodo colector y la varilla, que recibe una corriente continua de entre 13 y 20 kV, es el electrodo ionizante. El aire pasa a través del tubo a razón de 85 l/min, aproximadamente, creándose la corriente por medio de un ventilador eléctrico. Las partículas de polvo en suspensión en el aire se cargan de electricidad al pasar por el tubo

y se depositan en su superficie interna por la acción del campo electrostático. El dispositivo de muestreo, consistente en el tubo de muestreo y el ventilador, pesa alrededor de 1,8 kg, se lo puede tener en la mano y trasladarlo de lugar, o se lo puede fijar en la posición que se desee.

Un cable de alto voltaje conecta el dispositivo de muestreo con la fuente de energía, que consiste esencialmente en un transformador de alto voltaje conectado con dos tubos electrónicos rectificadores. El cable se puede prolongar, llegado el caso.

El aparato se vende con tubos colectores de repuesto, y con la caja en que se lo transporta pesa alrededor de 13,5 kg.

La balanza de Gast.

En la balanza de Gast, las partículas de polvo atraviesan un campo eléctrico a alta tensión (alrededor de 10 kV) y se precipitan en una cámara de precipitación, de la cual caen sobre un electrodo fijado en el astil de una microbalanza registradora. La precipitación dura entre 1 y 4 minutos, y el aparato sigue funcionando automáticamente durante un período indefinido. Un pequeño ventilador de velocidad constante lanza un volumen fijo de aire durante un período determinado. La figura 117 muestra el principio de funcionamiento de este aparato.

Precipitador térmico

El precipitador térmico es uno de los instrumentos más seguros para la toma de muestras de polvo y se lo puede utilizar para toda clase de partículas en suspensión, tanto orgánicas como inorgánicas, y cualquiera que sea el grado de concentración. Para las partículas de no más de 5 micrones de diámetro y hasta los límites de separación del microscopio óptico, el rendimiento del precipitador térmico se aproxima al 100 por ciento. Este aparato es adecuado tanto para las muestras que se toman corrientemente en las minas como para los trabajos de investigación y para estudios especiales. Además, con el precipitador térmico se pueden tomar

muestras que luego pueden ser examinadas al microscopio electrónico. Estos aparatos pueden ser utilizados en toda clase de minas, incluidas las grisúosas (véase la lámina XI).

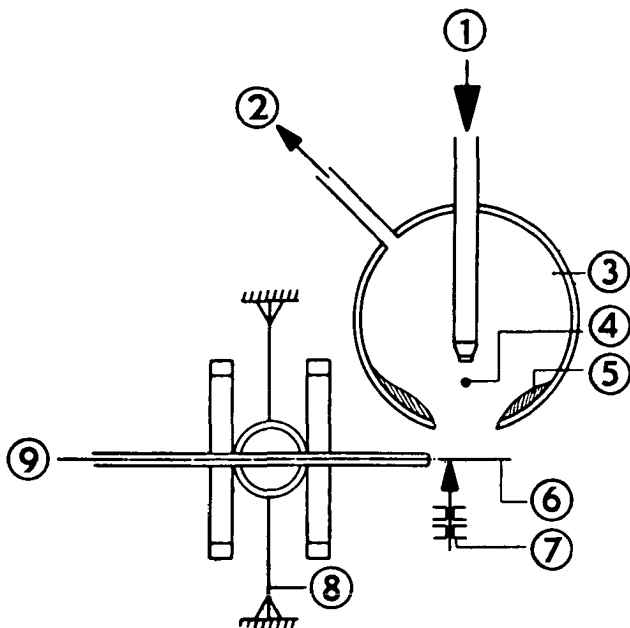


FIG. 117. — Principio de funcionamiento de la balanza de Gast.

1: Entrada del aire cargado de polvo. 2: Conexión con el contador de gas y con la bomba aspirante. 3: Cámara de precipitación. 4: Hilo metálico generador del campo eléctrico. 5: Capa aislante. 6: Lámina colectora. 7: Dispositivo de interrupción del funcionamiento del aparato. 8: Cinta tensora. 9: Astil de la balanza.

La precipitación térmica se basa en el principio de que las partículas de polvo finas no pueden penetrar en el espacio que rodea a un cuerpo caliente, espacio en el cual se produce un gradiente térmico muy marcado. En la figura 118 se ilustra una aplicación de este principio, en la cual se tiende un hilo metálico

llevado a alta temperatura entre dos portaobjetos. El aire pasa lentamente (a 1,4 m/min) entre los cubreobjetos y sobre el hilo metálico. El polvo se deposita sobre cada uno de los cubreobjetos formando una estrecha banda frente al espacio libre de polvo.

Las partículas de polvo se depositan en el mismo estado en que se encontraban en suspensión en el aire. No experimentan ningún cambio brusco, a menos que se presenten como núcleos de pequeñas gotas de neblina, caso en el cual la evaporación del agua puede influir sobre sus dimensiones y por lo tanto sobre su posible nocividad.

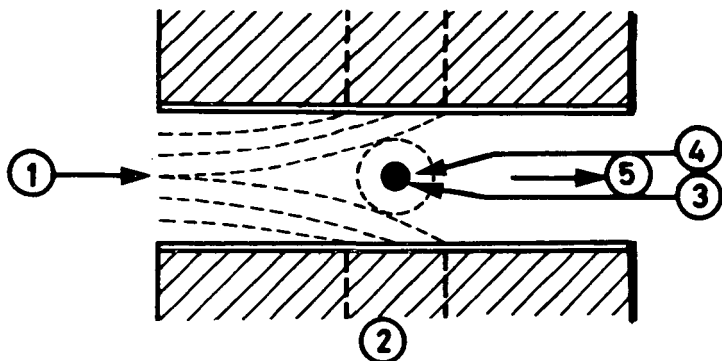


FIG. 118. — Principio de funcionamiento del precipitador térmico.

1: Entrada del aire cargado de polvo. 2: Zona de precipitación. 3: Hilo metálico a alta temperatura. 4: Zona libre de polvo. 5: Aire libre de polvo.

El elemento principal de este instrumento (véase la figura 119) es el dispositivo de toma de muestras (véase la figura 120), que consiste en un cubo de latón dividido en dos mitades separadas por un aislante, formando una ranura vertical horizontalmente atravesada por el hilo metálico calentado eléctricamente. En cada mitad del cubo hay dos orificios que permiten mantener los portaobjetos en la debida posición por medio de unas arandelas de latón que ajustan perfectamente. El extremo inferior del cubo de latón se prolonga y tiene una rosca por medio de la cual se lo conecta

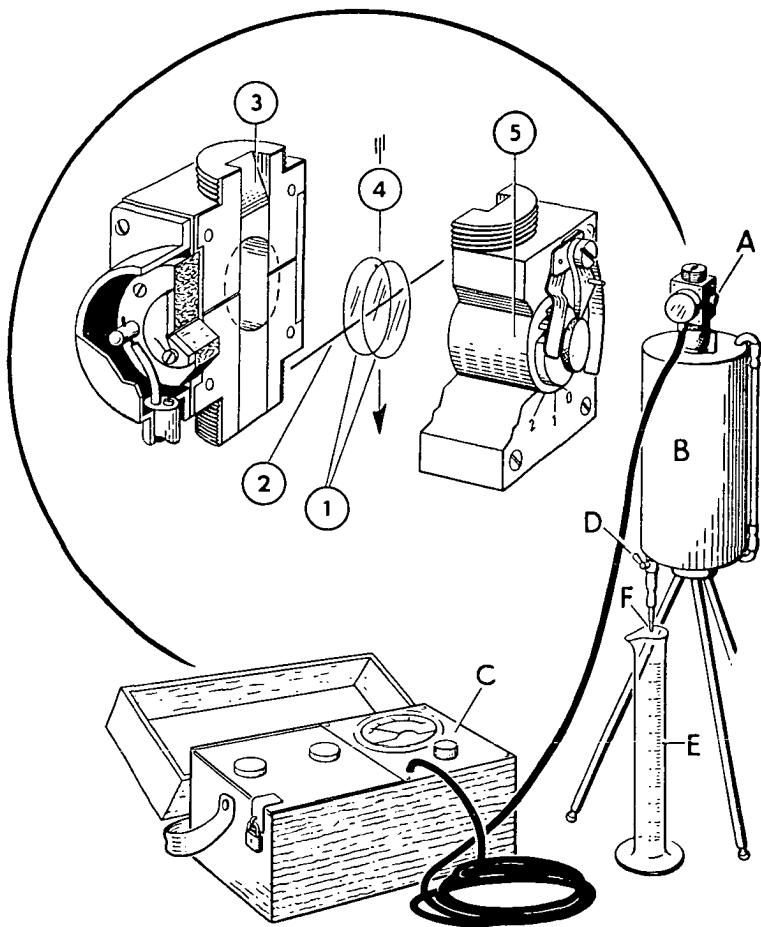


FIG. 119. — Precipitador térmico.

1: Láminas de vidrio. 2: Hilo metálico caliente. 3: Orificio de aspiración. 4: Paso del aire. 5: Conmutador.

La cabeza *A* del precipitador, sólidamente atornillada sobre el recipiente que tiene el aspirador de agua *B*, recibe una corriente de 1,2 amperios del regulador *C*. Cuando está abierta la llave *D*, el agua pasa a la probeta graduada *E*. La boquilla *F* regula el volumen, que no debe pasar de 7 cm³/min. Una vez tomada la muestra se cierra el paso del agua y se anota el volumen con toda exactitud. Se corta la corriente eléctrica, se retira la cabeza del precipitador y se retiran luego las láminas de vidrio para su examen al microscopio.

con un dispositivo de aspiración que produce la corriente de aire que tiene que pasar por la ranura. El aparato lleva además consigo un aspirador de agua y un pequeño acumulador que calienta el hilo metálico dándole una temperatura de unos 100° C. Los elementos del precipitador térmico se pueden montar de distintas maneras, según las circunstancias.

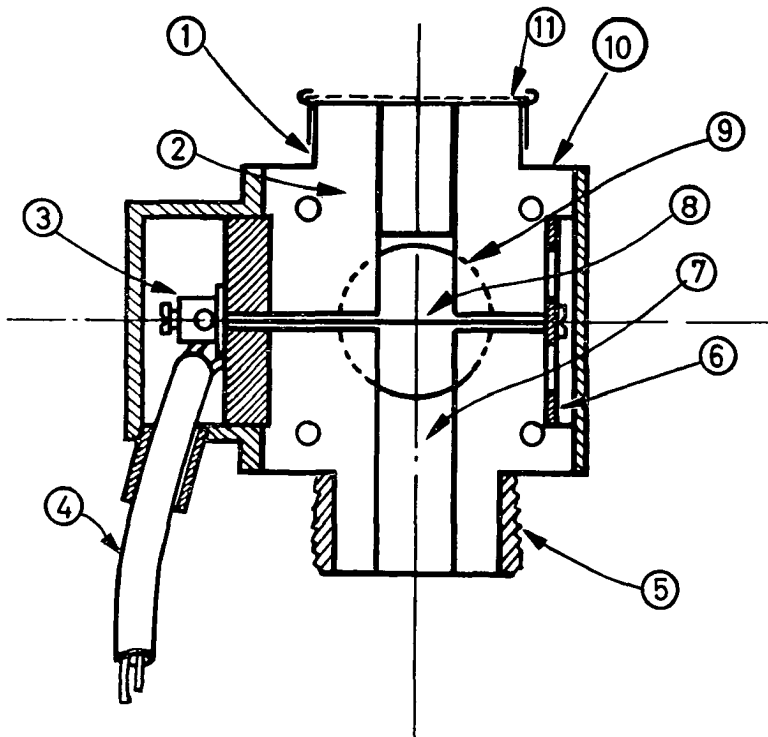


FIG. 120. — Sección de la cabeza del precipitador térmico.

1: Prolongación cilíndrica. 2: Piezas de separación de bakelita. 3: Borne eléctrico aislado. 4: Cable eléctrico doble. 5: Prolongación cilíndrica de rosca. 6: Resorte de lengüeta. 7: Paso del aire. 8: Hilo metálico caliente. 9: Orificios para la colocación de las láminas de vidrio circulares. 10: Cubo de latón. 11: Filtro de gasa.

Se han introducido diversas innovaciones en el dispositivo corriente de toma de muestras de estos aparatos. Así, se utilizan conmutadores de resorte y conmutadores especiales para tomar muestras que se pueden examinar con el microscopio electrónico. Los conmutadores de resorte se pueden colocar en seis posiciones diferentes, lo cual permite tomar seis muestras en cada portaobjetos. Con otra modificación se pueden recoger cuatro bandas de polvo que forman los cuatro lados de un cuadrado, de manera que las bandas no se cruzan.

El dispositivo de toma de muestras de algunos precipitadores térmicos ha sido completamente modificado. Con uno de ellos se pueden tomar varias muestras sin cambiar la placa; otro tiene una placa móvil con la que se obtiene un registro continuo. También existe un canal de sedimentación que es de gran utilidad, en el cual quedan depositadas las partículas de entre 5 y 10 micrones antes de que el aire entre en el precipitador. Entre las variantes de este tipo de aparatos están el precipitador término de la Oficina Nacional del Carbón del Reino Unido, el precipitador térmico Witwatersrand y el precipitador térmico oscilante, en el cual la banda de polvo se deposita sobre una superficie más amplia, lo que facilita su examen con el microscopio electrónico.

Instrumentos que se utilizan para la investigación

En los centros de investigación donde se estudia el polvo se han inventado y fabricado muchos instrumentos de toma de muestras de diferentes tipos, en muchos casos por necesitarse datos especiales que no se pueden obtener con los instrumentos corrientes. Estos aparatos especiales, cuyos diversos principios de funcionamiento son los ya anteriormente expuestos, no serán descritos en esta guía.

En el cuadro de las páginas 366 y 367 se resumen las características fundamentales de los diversos aparatos que se utilizan para la toma de muestras del polvo en suspensión en el aire.

RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE ALGUNOS

| Instrumento | Procedimiento | Unidad de medida ¹ | Tamaño de las partículas medidas | Volumen de aire | Concentración máxima que se puede medir |
|--|---------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---|
| Tyndaloscopio (con o sin dispositivo de calentamiento) | Óptico | Sin dimensiones o mg/m ³ | Todas las partículas o < 10 μ a 0,1 μ | 50 cm ³ aproximadamente | Ilimitada |
| Conifmetro | Colisión | p/cm ³ | > 0,2 μ | 1,0, 2,5 o 5,0 cm ³ | 1.000 p/cm ³ |
| Midget-impinger | Colisión | p/cm ³ o mg/m ³ | > 1 μ | El que se desee | Ilimitada |
| Midget-scrubber | Colisión | p/cm ³ o mg/m ³ | > 0,2 μ | El que se desee | Ilimitada |
| Midget-scrubber combinado con un pre-impinger | Colisión | p/cm ³ o mg/m ³ | > 5 μ a 0,2 μ | El que se desee | Ilimitada |
| Filtro Le Bouchet | Filtración (filtro soluble) | mg/m ³ | > 0,2 μ | El que se desee | Ilimitada |
| Bomba a mano P.R.U. | Filtración (filtro de papel) | Superficie | > 0,5 μ | 80 cm ³ por golpe | Ilimitada |
| Filtro Göthe | Filtración (filtro de papel) | mg/m ³ o p/cm ³ | > 0,5 μ | El que se desee | Ilimitada |
| Hexhlet | Filtración (filtro de papel) | mg/m ³ | < 5 μ | 50 l/min | Ilimitada |
| Bomba a mano Dräger | Filtración (filtro de membrana) | p/cm ³ | > 0,1 μ | 100 cm ³ por golpe | 5.000 p/cm ³ |
| Filtro de membrana Zurlo | Filtración (filtro de membrana) | p/cm ³ | > 0,1 μ | De 100 a 1.500 cm ³ | 12.000 p/cm ³ |
| CERCHAR 857 | Filtración (filtro de membrana) | mg/m ³ o p/cm ³ | > 0,1 μ | 200 cm ³ /min | Ilimitada |
| Instrumento Füssel | Filtración (filtro de membrana) | mg/m ³ o p/cm ³ | > 0,1 μ | El que se desee | Ilimitada |
| SIMGARD (S.M.R.E.) | Filtración (filtro de membrana) | mg/m ³ | < 5 μ | 3 l/min | Ilimitada |
| Coniciclo | Ciclón | mg/m ³ | De 1 a 5 μ (aproximadamente) | 10 l/min | Ilimitada |
| Balanza Gast | Electrostático | p/cm ³ | Todos | 100 cm ³ , aproximadamente | Ilimitada |
| Precipitador térmico corriente | Térmico | p/cm ³ | > 0,2 μ | El que se desee | Según el volumen de la muestra |
| Precipitador térmico de funcionamiento continuo | Térmico | p/cm ³ | De 0,2 a 5 μ | Un máximo de 1.000 cm ³ | Según el volumen de la muestra |

¹ p/cm³ = partículas por centímetro cúbico.

INSTRUMENTOS DE TOMA DE MUESTRAS

| Muestra máxima que se puede tomar | Duración del muestreo | Maneabilidad del aparato | Peso aproximado del aparato | Fuente de energía | Posibilidades de análisis mineralógico |
|-----------------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------|---|--|
| — | 1 min | Buena | 1,9 kg | Acumulador | Ninguna |
| — | 1 s | Buena | 2 kg, aproximadamente | Ninguna | Ninguna |
| 100 mg | Ilimitada | Regular | 1 kg, aproximadamente | Eyector de aire comprimido o bomba de vacío | Sí |
| 50 mg | Ilimitada | Regular | 1 kg, aproximadamente | Eyector de aire comprimido o bomba de vacío | Sí |
| 50 mg | Ilimitada | Regular | 1 kg, aproximadamente | Eyector de aire comprimido o bomba de vacío | Sí |
| 100 mg | Ilimitada | Regular | 4 kg | Inyector incorporado | Sí |
| — | 1 min | Buena | 2 kg | Ninguna | Ninguna |
| Algunos gramos | Ilimitada | Regular | 10 kg | Inyector incorporado | Sí |
| Algunos gramos | Ilimitada | Buena | 5 kg | Eyector de aire comprimido o bomba de vacío | Sí |
| — | 1-5 min | Buena | 1 kg | Ninguna | Limitadas |
| — | 3-15 min | — | 3 kg | Bomba de mercurio incorporada | Limitadas |
| 1 mg, aproximadamente | 4 1/2 horas como máximo | — | 4,1 kg | Acumulador | Limitadas |
| 50 mg | Ilimitada | Regular | 7 kg | Inyector incorporado | Sí |
| 50 mg | 10 horas | Buena | 5 kg | Botella de bióxido de carbono incorporada | Sí |
| 100 mg | 8 horas | Buena | 10 kg | Acumulador incorporado | Sí |
| Algunos gramos | Ilimitada | Regular | 10 kg | Acumulador | Ninguna |
| — | 2 a 60 min | Regular | 4 kg | Acumulador | Métodos visuales únicamente |
| — | 8 horas como máximo | Buena | 10 kg | Acumulador | Ninguna |

B. Operaciones

Las muestras de polvo se pueden tomar con diversos propósitos, ya sea como una de las operaciones que se efectúan al hacer un estudio general de una mina para trazar un plan de prevención del polvo, ya sea cuando se está haciendo una investigación especial, por ejemplo, sobre determinado tipo de perforadoras, o bien como medida habitual de control del polvo.

Estudios generales

Las empresas mineras que quieren tomar medidas para suprimir el polvo deberían hacer primeramente un estudio general de los lugares de trabajo y del polvo que hay en ellos, para obtener los datos necesarios. Se necesitan datos sobre diversas cuestiones, como la cantidad y las características del polvo que en la mina se desprende, los lugares donde más polvo se produce, las máquinas y las operaciones que producen más polvo y las variaciones de la concentración del polvo durante un turno de trabajo o entre un turno de trabajo y otro. La información obtenida debería permitir a la dirección de la empresa no sólo elaborar medidas eficaces de prevención y supresión del polvo, sino también un programa de toma de muestras regulares y periódicas basado en el conocimiento exacto de las variaciones de la concentración del polvo y de la frecuencia con que se producen las concentraciones más importantes, programa que permitirá controlar la aplicación y la eficacia de las medidas que se haya decidido tomar.

Los datos necesarios se pueden obtener de dos maneras:

a) mediante la toma continua de muestras, que permitirá obtener un promedio muy exacto siempre que el período de muestreo sea suficientemente largo;

b) mediante muestreos intermitentes a intervalos regulares, con los cuales se obtiene un promedio menos exacto pero, en cambio, se pueden seguir mejor las fluctuaciones de la concentración del polvo.

Antes de medir las concentraciones de polvo es necesario saber para qué se van a utilizar los resultados, cuáles son los instrumentos de medición y evaluación y el personal de que se dispone, cuál es el tamaño de partículas que interesa, si la concentración del polvo se ha de medir en miligramos por metro cúbico o en partículas por centímetro cúbico, si se ha de determinar la composición del polvo por tamaños de partículas, hasta qué punto habrá que hacer análisis mineralógicos, con qué frecuencia se habrán de repetir las mediciones y si se han de registrar los resultados para poder compararlos con los obtenidos por otros procedimientos de medición.

Ya se dijo anteriormente que para que las medidas de lucha contra el polvo sean eficaces se necesitan muchos datos acerca del polvo que en las operaciones se desprende: cantidad, composición mineralógica, composición por tamaños de partículas, etc. Por ninguno de los procedimientos de muestreo se obtendrán todos estos datos al mismo tiempo. Por ejemplo, el aparato Soxhlet, de filtros en forma de dedal, que es uno de los que más exactamente dan el peso del polvo que contiene determinado volumen de aire, no da información alguna acerca de la composición del polvo por tamaños de partículas, y el precipitador térmico, con el que se pueden tomar muestras y hacer estudios de las partículas más pequeñas, no es un buen instrumento de muestreo para las partículas gruesas.

Muestreos corrientes

Existen muchas clases de minas y muchos métodos de explotación; además, las condiciones de trabajo pueden ser muy diferentes, no solamente según el mineral que se extraiga, sino también, por ejemplo, entre una y otra mina de carbón. Como la cantidad de polvo que se desprende en los distintos lugares de trabajo y en horas diferentes y su concentración distan de ser siempre las mismas, no es posible establecer normas concretas para la toma de muestras que se puedan seguir en todos y cada uno de los casos. A continuación se harán algunas observaciones de orden general

a este respecto y se describirán los métodos utilizados para los muestreos corrientes en diferentes cuencas mineras.

El objeto fundamental de los muestreos corrientes es determinar el riesgo coniótico a que están expuestos los trabajadores en diferentes operaciones mineras y verificar regularmente la eficacia de los métodos de lucha contra el polvo que se están utilizando, de manera que hay que establecer series de normas especiales para cada tipo de lugar de trabajo sobre el que haya que obtener datos. En estas normas, que serán aplicables a una mina o a un grupo de minas de condiciones similares, se debe determinar el instrumento que ha de emplearse, los lugares donde se deben tomar las muestras en relación con los trabajadores o con las operaciones de que se trate y la frecuencia con que se han de hacer los muestreos.

Elección del instrumento.

El instrumento ideal sería el que recogiese una muestra representativa del polvo tal como se lo encuentra en suspensión en el aire, es decir, sin alterar las partículas ni su distribución en forma alguna, y permitiese evaluar rápida y fácilmente el resultado. Debería recoger solamente las partículas respirables, con la misma selectividad que el sistema respiratorio humano, y proporcionar información acerca de un período de tiempo bastante largo, indicando, además de la concentración media de polvo, las fluctuaciones pasajeras de ésta. Debería ser un aparato sencillo, fuerte y utilizable en las condiciones en que se trabaja en las minas, y vendría mucho que fuera automático.

En la actualidad no existe ningún instrumento que reúna todas estas condiciones. La mayor parte de ellos tienen sus propios límites de selección o deshacen las aglomeraciones de partículas indicando un número de partículas finas superior al existente; otros ocupan demasiado espacio o tienen que ser manejados por personas especializadas que deben vigilarlos muy atentamente, y no son adecuados para los muestreos corrientes que se hacen en las minas. Las posibilidades de elección son, pues, muy limitadas. En la práctica se elegirá probablemente un instrumento que permita

tomar un gran número de muestras en diferentes lugares en el menor tiempo posible, o bien alguno de los instrumentos de funcionamiento continuo especialmente concebidos para su utilización en el fondo de las minas. También a veces habrá que tener en cuenta la necesidad de comparar los resultados obtenidos a lo largo de los años para conocer los efectos de la exposición al polvo en los trabajadores, de manera que no se podrá cambiar de instrumento a la ligera.

Lugares donde se deben tomar las muestras.

Las tomas de muestras corrientes tienen por objeto determinar la cantidad de polvo que respiran las personas que trabajan en determinado lugar, de modo que la colocación del aparato habrá de depender de los movimientos y de las actividades de esas personas. Además, se deben obtener datos complementarios sobre la cantidad de polvo existente en el aire que llega al lugar de trabajo y en el aire que sale de ese lugar.

Los experimentos realizados han permitido comprobar que en una corriente de aire las partículas de polvo están muy mezcladas y que las fluctuaciones a corto plazo de la concentración del polvo desaparecen rápidamente al irse alejando el aire de la causa de la fluctuación. Así, a una distancia del punto de origen del polvo de más de treinta veces el diámetro de la galería, la concentración del polvo es aproximadamente uniforme sobre toda la sección de la galería. Cuando en una galería (porque existen obstáculos, recodos, etc.) la corriente de aire es muy turbulenta, la concentración de polvo puede ser uniforme a una distancia del punto de origen del polvo bastante corta, por ejemplo, de diez veces el diámetro de la galería. Hasta una distancia de unos 100 metros, a la velocidad normal del aire, la concentración de polvo respirable no cambia notablemente por efecto de la precipitación de las partículas. Por esta razón, en las vías de retorno del aire conviene tomar las muestras a una distancia de entre 30 y 100 metros del punto de origen del polvo o del lugar de trabajo.

El lugar para la toma de muestras del aire que entra en determinado lugar de trabajo se debe elegir de manera que las opera-

ciones particulares que sólo se efectúan en ese lugar de trabajo no influyan en las muestras. Entre estas operaciones pueden estar las de transporte y las de vuelco de los basculadores con que se saca el mineral o el carbón del lugar de trabajo.

En los lugares de trabajo poco espaciosos, como las galerías de avance y las cámaras (en las explotaciones por cámaras y pilares), las muestras se deben tomar, como en los demás lugares de trabajo, cerca de los trabajadores y al nivel medio de respiración, pero cuando el aire llega al frente de arranque por una tubería, las muestras del aire de entrada se deben tomar en el interior del conducto a una distancia mínima del punto de salida igual a su diámetro. En la corriente de retorno, las muestras se deben tomar a 15 metros por lo menos del punto de salida del aire puro, corriente abajo, y también corriente abajo más allá del último de los trabajadores, y si el sistema utilizado es de aspiración, en el interior del conducto de aspiración.

Frecuencia con que se deben tomar las muestras.

La frecuencia con que se deben tomar las muestras dependerá de la cantidad de polvo que suela haber en el lugar de que se trate, del número de personas que por regla general trabajen en dicho lugar y de la clase de polvo que en él se produzca. Muchos técnicos prevén intervalos máximos de entre uno y doce meses, según las circunstancias.

La frecuencia con que se harán los muestreos no solamente dependerá de la cantidad de polvo existente, sino también de las variaciones de esa cantidad. Si las cifras obtenidas varían mucho, a fin de obtener una información más completa acerca del origen del polvo se deben tomar muestras más frecuentes que en los casos en que la cantidad de polvo es relativamente constante.

Datos que se deben registrar.

Se deberían registrar todos los datos pertinentes que se puedan obtener. Además de una descripción del lugar de trabajo se debería anotar la clase de trabajo que se está efectuando, la mano

de obra empleada, el equipo utilizado, la clase de roca, de carbón o de material de relleno (cuando sea pertinente), el espesor de la capa, el sistema de ventilación, la velocidad del aire, la cantidad de aire que llega al lugar, la sección de la galería o del túnel, la temperatura y la humedad relativa del aire, los aparatos para la supresión del polvo que hay en el lugar y el uso hecho del agua. Se debería asimismo hacer un croquis en el que se indiquen los lugares donde se han realizado las mediciones. En el anexo 5 se reproducen algunos tipos de formularios utilizados para el registro de estos datos.

Estudios especiales

Cuando se está ensayando un nuevo tipo de perforadora o se está probando en el fondo de una mina un prototipo de aparato mecánico, hay que estudiar sus características en lo relacionado con la producción de polvo. Estos estudios también suelen ser necesarios para determinar los efectos de los cambios introducidos en el equipo de perforación o de captación del polvo. Para esto se deberían tomar muestras del polvo en condiciones estrictamente controladas, y por lo general se necesitan datos muy precisos. En el anexo 2 se hallará la descripción de algunas cámaras subterráneas especialmente equipadas y construídas para este fin.

Entre las cuestiones que han sido especialmente estudiadas por el procedimiento de la toma de muestras están la eficacia de los aparatos que se utilizan para la supresión del polvo (como rociadores o aparatos proyectores de neblina), la forma que deben tener las boquillas de los rociadores, las ventajas y desventajas de los distintos sistemas de ventilación desde el punto de vista de la eliminación del polvo, el rendimiento de los distintos instrumentos de toma de muestras, las características de los diferentes tipos de barrenas de perforación también desde el punto de vista de la producción de polvo y los procedimientos que substituyen a la pega de barrenos. En algunos casos es preciso averiguar el riesgo coniótico que entraña una operación determinada o la exposición total de un trabajador al polvo en determinada ocupación. Para esto se han ideado aparatos especiales de toma de muestras

que puede llevar consigo el propio trabajador interesado o una persona que lo acompañe, con los cuales se pueden registrar los datos relativos a la exposición de ese trabajador durante todo el tiempo que se desee.

Métodos aplicados en distintos países

Los datos que se dan a continuación han sido suministrados por varios países mineros y se refieren a los procedimientos de toma de muestras que esos países prefieren. Esta información indica claramente el criterio adoptado en cuanto a la toma periódica de muestras.

Francia.

En Francia se ha establecido el siguiente procedimiento:

1. Las muestras se deben tomar a intervalos regulares durante los periodos de mayor actividad del turno de trabajo. No se deben tomar muestras durante los periodos de descanso o pausas ni durante los periodos que siguen a las voladuras, siempre y cuando no haya ninguna persona que pueda estar expuesta al polvo producido por éstas.

2. Se deben tomar muestras con las que se cubra una superficie determinada en determinados tipos de lugares de trabajo, de la siguiente manera:

a) Lugares de trabajo dotados de ventilación auxiliar:

Si el sistema de ventilación es aspirante, entre el frente de arranque y el extremo del conducto más cercano a él.

Si el sistema de ventilación es impelente, a menos de 10 metros del extremo del conducto, corriente de aire abajo.

b) Lugares de trabajo con ventilación directa de un extremo al otro:

A menos de 15 metros del frente de arranque y a una distancia de la entrada superior a 1,5 veces la anchura de la misma.

- c) Lugares de despilaramiento con ventilación principal:
En las galerías de trabajo y, llegado el caso, en la galería de retorno de aire, a menos de 15 metros del lugar principal de trabajo del último trabajador, corriente abajo.
- d) Puntos de transbordo subterráneos con ventilación principal:
A menos de 3 metros del punto de transbordo, corriente abajo.
- e) Otros lugares de trabajo y galerías de retorno de aire con ventilación principal:
A menos de 5 metros del lugar principal de trabajo del último trabajador, corriente abajo.
- f) Talleres:
A menos de 5 metros del punto de origen del polvo, y si la corriente de aire es muy fuerte sólo corriente abajo.
- g) Lugares de trabajo al aire libre:
En estos lugares de trabajo las medidas de prevención del polvo son tan sencillas y tan fáciles de aplicar que no debería ser necesario tomar muestras.

Procedimientos de toma de muestras.

Para tomar las muestras del grupo 1 se debe utilizar obligatoriamente el filtro Le Bouchet de tetracloronaftaleno aprobado para su uso en las minas.

En cada lugar de trabajo se deben tomar por lo menos ocho muestras de 15 minutos de duración. Estas muestras han de ser tomadas a una velocidad de 20 cm/s (correspondiente a 12 l/min), con el filtro colocado perpendicularmente y de frente a la corriente de aire.

Los filtros se disuelven en bencina, las partículas de más de 5 micrones se separan por sedimentación y se hace el recuento de las restantes, de entre 0,5 y 5 micrones, con un microscopio óptico con un aumento de 200 veces por lo menos y con un poder separador de 0,5 de micrón.

La cantidad de sílice libre que contienen las partículas de menos de 5 micrones de todas las muestras tomadas en un mismo lugar de trabajo se determina por difracción de rayos X mediante difractometría.

Para tomar las muestras del grupo 2 se utiliza un filtro de membrana microporo, ya sea el Le Bouchet con portamembrana especial, ya sea el Cerchar. El diámetro de los poros debe ser de 0,2 de micrón, aproximadamente.

En cada lugar de trabajo se deben tomar por lo menos quince muestras cuya duración dependerá de la concentración, aunque cada una de ellas debe durar por lo menos un minuto. La velocidad debe corresponder a 1 l/min, aproximadamente, y la membrana debe colocarse perpendicularmente y de frente a la corriente de aire.

Para el recuento se somete la membrana a un tratamiento para hacerla transparente, y con un microscopio de proyección con un aumento de 200 veces por lo menos se determina el total de partículas de entre 0,5 y 5 micrones.

La sílice libre se determina por difracción de rayos X en las partículas de menos de 5 micrones de muestras tomadas especialmente con este fin.

Reino Unido.

En el Reino Unido se considera imposible medir la cantidad de polvo a que está expuesto cada trabajador del fondo o un grupo de trabajadores del fondo elegido al azar, y se estima que sólo se puede tratar de determinar la concentración general del polvo y sus variaciones a largo plazo. Únicamente se concede importancia a la toma de muestras de partículas finas (de entre 0,5 y 5 micrones), cuya velocidad de sedimentación es baja y de las que sólo una pequeña parte se depositan cuando el aire pasa sobre un frente de carbón. En realidad, una gran parte del polvo es arrastrado a largas distancias por las galerías de retorno del aire. Lo más probable es que la concentración más elevada de partículas finas, y por consiguiente el mayor riesgo coniótico, se hallen en el punto del frente donde se inicia el retorno de la corriente de aire. Por lo

tanto, se acostumbra colocar un precipitador térmico a menos de 4,5 metros del punto de retorno del aire, a la altura aproximada del nivel normal de respiración de los trabajadores. El precipitador térmico no es fácil de transportar, pero tomando las muestras en la galería de retorno de aire a cierta distancia del frente de arranque se pueden obtener resultados más uniformes y seguros y además es más fácil el manejo del aparato. El procedimiento normal para la toma de muestras con el precipitador térmico consiste en tomar ocho muestras espaciadas a intervalos regulares a lo largo del período efectivo de trabajo del turno correspondiente. El propósito es recoger muestras cada tres meses en cada uno de los frentes de trabajo, durante cada uno de los tres turnos de trabajo. La bomba P.R.U., con la cual se efectuaban antiguamente muestreos regulares en cada frente de arranque todos los meses, ha sido substituída en gran medida por el precipitador térmico.

En las galerías de avance de roca dura, las concentraciones de polvo más importantes se producirán probablemente durante la perforación, durante la descarga y después de las voladuras. Cuando se emplea un precipitador térmico, la toma de muestras debería empezar tan pronto como las operaciones estén en marcha y debería continuar mientras no cesan las operaciones. Si las medidas de supresión del polvo son eficaces se podrá obtener una idea exacta de la concentración de polvo con no más de dos muestras tomadas con el precipitador térmico, pero cuando se emplea un conímetro se suelen tomar muestras a intervalos de un minuto durante el período que hay que estudiar. Las muestras se deben tomar lo más cerca posible de los trabajadores. Durante las operaciones de carga, las muestras tomadas con el precipitador térmico o el conímetro se espacian a intervalos regulares a lo largo de la operación.

Los lugares donde se toman las muestras son, en términos generales, los siguientes:

a) Tajos largos:

- i) En el turno encargado de la carga las muestras se recogen en un punto fijo cerca del lugar del frente donde se inicia el

retorno de la corriente de aire, ya sea sobre el frente mismo, ya en la galería.

- ii) En el turno encargado de la roza la toma de muestras se hace en un punto fijo del frente de arranque cerca del punto donde se inicia el retorno del aire.
- iii) En el turno encargado del recorte o del relleno la toma de muestras se hace en un punto fijo, a 9 metros, por lo menos, de los trabajadores respecto de los cuales se desea medir la concentración de polvo, del lado del retorno del aire, y si esto no es posible se puede elegir al azar un trabajador y tomar las muestras lo más cerca posible de él.

b) Frentes de carbón arqueados:

La toma de muestras se realiza, sea cual fuere la operación, cerca de un trabajador elegido al azar, en el frente de arranque del lado de retorno del aire.

c) Galerías de avance:

Las muestras se toman en un punto fijo, a unos 9 metros de la boca del conducto de ventilación y a menos de 27 metros del frente. No obstante, cuando el sistema de ventilación es aspirante o un sistema combinado de lanzamiento y aspiración de aire, las muestras se recogen cerca de un trabajador elegido al azar que trabaje en el frente.

d) Puntos de transbordo y de carga:

La toma de muestras se realiza a una distancia de entre 14 y 27 metros, corriente abajo, de los puntos de transbordo o de carga.

República Sudafricana.

Los reglamentos de la República Sudafricana exigen que en las minas de oro se tomen muestras en todos los lugares de trabajo por lo menos una vez cada tres meses. Las muestras corrientes se toman con un conímetro.

En el fondo de las minas de carbón se toman generalmente muestras:

- 1) durante las labores de roza;
- 2) durante la perforación;
- 3) durante la carga;
- 4) durante el tojeado del frente y el riego posterior a las voladuras;
- 5) durante la carga mecánica;
- 6) en la corriente de aire que entra en los lugares de trabajo;
- 7) en la corriente de aire de retorno de los lugares de trabajo;
- 8) durante operaciones diversas.

En las instalaciones y talleres de la superficie se toman las muestras en las cercanías de todos los lugares donde se efectúan operaciones en que se produce polvo.

En el fondo de las minas, la persona encargada de la toma de muestras estudia primeramente la marcha normal de las operaciones para poder obtener una serie de muestras correspondientes al trabajo que se está efectuando. Las muestras se recogen en la entrada de aire principal o en las entradas de aire secundarias, según resulte más adecuado. Se deben registrar los datos siguientes:

a) Operaciones:

- i) tiempo transcurrido entre la voladura y el regreso de los trabajadores y tiempo transcurrido entre la voladura y el momento en que se empieza a tomar la muestra;
- ii) situación del tajo en el frente de arranque, es decir, en el techo, a media altura o en la base;
- iii) situación de los orificios perforados en el frente de arranque, esto es, si se hallan en la parte superior o en la parte inferior;
- iv) si el carbón está húmedo o seco en el momento de la carga y si la carga se hace a mano o por medios mecánicos;
- v) cuando se utilizan máquinas de percusión para perforar roca dura, detalles completos sobre la máquina, el conducto de agua y el suministro de ésta;

- vi) clase de carbón que se está extrayendo;
- vii) métodos empleados para la supresión del polvo;
- viii) personal presente;
- ix) altura y anchura de los frentes de trabajo;
- x) ciclo de operaciones;
- xi) tipos de máquinas utilizadas.

b) Ventilación:

- i) velocidad y volumen del aire (para determinar la dirección de las corrientes de aire y para medir pequeñas velocidades se utilizan una bomba y un tubo fumígenos);
- ii) temperaturas tomadas con termómetro de bola seca y con sicómetro;
- iii) indicaciones proporcionadas por el catatermómetro húmedo;
- iv) distancia entre los puntos donde se toman las muestras y la corriente de ventilación (se practica el método de explotación por cámaras y pilares y los frentes de arranque no son atravesados por la corriente de ventilación principal);
- v) todos los sistemas particulares de ventilación y detalles sobre los tabiques de ventilación, los ventiladores auxiliares y los conductos de ventilación.

c) Suministro de agua:

- i) presión del agua;
- ii) diámetro del tubo flexible de conducción de agua;
- iii) procedencia del agua.

MEDICIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE POLVO

La concentración del polvo en suspensión en el aire se puede medir por el peso de las partículas, por su número o por su superficie.

Si se utiliza el método gravimétrico, que es el más rápido, el más exacto y el más seguro, no se necesita personal especializado.

El recuento de las partículas y la medición de su tamaño proporcionan datos suplementarios, ya que el recuento permite calcular la masa y la superficie de las partículas. Sin embargo, el recuento de las partículas es una tarea larga y fastidiosa, y además la exactitud de los resultados varía según la técnica aplicada y depende también de la pericia del trabajador encargado de la operación.

La medición exacta de la superficie de las partículas en suspensión en el aire presenta grandes dificultades. Sin embargo, ciertos fenómenos condicionados por esa superficie permiten calcularla rápidamente, y por esta razón se ha adoptado este procedimiento de medición en algunos centros mineros.

Instrumentos ópticos

Si el instrumento que se utiliza es un tyndaloscopio, se lo mantiene en la corriente de aire de modo que el polvo pueda entrar libremente en la cámara de sedimentación. Luego se cierra la cámara, y el rayo de luz que se dirige sobre las partículas de polvo ilumina la mitad del campo del ocular. A la otra mitad del campo se le da la misma luminosidad con el botón graduado del analizador. Transcurridos 10 o 20 segundos, sin cambiar la posición del instrumento, se hace una segunda lectura. El nomograma que acompaña a cada instrumento o las tablas apropiadas permiten determinar el contenido de polvo que corresponde al ángulo de rotación del analizador. Con la primera lectura se obtiene el contenido total de polvo, y con la segunda la concentración de partículas de menos de 5 o 10 micrones. Se deben hacer varias lecturas a intervalos de uno o dos minutos.

Para el examen de las muestras recogidas en las minas de carbón se utiliza un aparato fotoeléctrico con precipitador térmico modificado. Con este aparato se mide la cantidad de luz interceptada por las partículas depositadas sobre una lámina de vidrio. El precipitador térmico que se utiliza tiene un elutriador en el que

se depositan las partículas de más de 10 micrones. Si con este método se obtiene algún resultado que parezca anormal o poco digno de confianza se lo debe verificar haciendo el recuento y midiendo la superficie de las partículas de las mismas muestras por el método corriente. Este procedimiento es muy útil para determinar la cantidad relativa de polvo, porque es rápido y sencillo y porque la persona que lo aplica no influye en manera alguna sobre los resultados.

Muestras tomadas con instrumentos basados en el principio de la colisión

El midget-impinger y el midget-scrubber.

El midget-impinger y el midget-scrubber son instrumentos en los que antes de tomar la muestra hay que poner un líquido colector de las partículas de polvo, que puede ser agua, petróleo o alcohol isopropílico, que debe llegar hasta un nivel determinado. Para las partículas de carbón son preferibles el petróleo o el alcohol isopropílico, por su poder humectante. La cantidad de aire deseada se aspira regulando la bomba para obtener el vacío necesario (alrededor de 30 cm de columna de agua). Esta cifra se determina por calibración previa con un contador de gas. La duración de la operación depende de la concentración de polvo que exista en el volumen de aire aspirado y de la cantidad de polvo que se desee recoger, pero por regla general es de entre media hora y varias horas. El líquido se debe mantener a un nivel constante, de modo que si es preciso se irá agregando poco a poco el que para ello se necesite. Una vez recogida la muestra se puede hacer el recuento de las partículas o se las puede pesar. Si se ha de hacer un recuento, el líquido colector se vierte primeramente en un frasco. Se enjuaga cuidadosamente el instrumento con el mismo líquido, terminando con un volumen determinado (por regla general de 25 a 50 cm³) dentro del frasco. Se pasa una parte de este líquido a una célula de recuento tipo Sedgewick-Rafter de 1 mm de profundidad, donde se deja reposar entre 20 y 30 minutos; luego se cuenta el número de partículas utilizando la técnica ordinaria de la ilumina-

ción sobre fondo claro. Se deberían hacer cinco recuentos de las partículas que hay en el fondo de la célula dividida en secciones de $0,05 \text{ mm}^2$. Habría que utilizar dos células para cada muestra. Se multiplica el número de partículas obtenido por la proporción entre el volumen del líquido examinado y el volumen total contenido en el recipiente, y se divide el resultado por el volumen de aire de la muestra.

Si de lo que se trata es de pesar las partículas contenidas en la muestra se aspira el líquido cargado de polvo y se lo pasa a un crisol de porcelana, y una vez evaporado el líquido se pesa el residuo en una balanza analítica con una exactitud de $\pm 0,1$ de miligramo.

Después se puede incinerar el polvo recogido para determinar la proporción de partículas de carbón.

Utilización del pre-impinger.

Se echa en el recipiente esférico del pre-impinger el mismo líquido colector que se utiliza en el midget-impinger o en el midget-scrubber, aparatos frente a los cuales se lo suele colocar. Ese recipiente no se debe mover para nada durante la medición, ya que de otro modo el líquido que contiene puede pasar, junto con el polvo, al recipiente siguiente. Es muy importante regular exactamente el volumen de aire aspirado y cuidar de que este volumen sea constante, ya que la velocidad de aspiración determina en parte el límite de separación de las partículas que se han de precipitar. El líquido purificador contenido en el pre-impinger debe mantenerse siempre al mismo nivel, de manera que hay que agregar líquido frecuentemente, sobre todo si es volátil.

El conímetro.

Antes de comenzar las mediciones hay que recubrir la placa del conímetro con una substancia adhesiva, que puede ser jalea de glicerina, aceite de inmersión, bálsamo de Canadá o vaselina. Para las mediciones cuantitativas ha dado muy buenos resultados una mezcla de 1 g de vaselina con 100 cm^3 de tetracloruro de carbono. El adhesivo se puede aplicar con un pincel fino, o si se trata de una

solución se la puede verter sobre la placa, inclinada ésta de manera que el líquido sobrante caiga en un recipiente de una forma especial. Es muy importante aplicar bien el adhesivo, porque si en la película que recubre la placa hay diferencias de espesor se pueden falsear considerablemente los resultados. Éste es uno de los principales inconvenientes de este instrumento, y se debería adoptar una técnica normalizada para esta operación.

Una vez preparadas las láminas se las coloca en el instrumento, que así queda en condiciones de ser utilizado. Para hacer una medición se debe retirar la cubierta de metal que se halla sobre el conducto de aspiración y se debe regular la bomba para que dé el volumen de aire que se desea (de 1, 2,5 o 5 cm³). El instrumento se debe colocar de manera que el conducto de aspiración forme un ángulo recto con la corriente de aire, de ser posible con la boca del conducto apuntando hacia abajo para que el instrumento no se interponga entre la boca del conducto y la corriente de aire. Antes de tomar una muestra se debe hacer funcionar el pistón de la bomba varias veces, para limpiar el conducto del polvo que en él pueda haberse depositado y que no sería el de la muestra. Si existe una fuerte concentración de polvo conviene dejar transcurrir más tiempo entre la toma de una mancha de polvo y la de otra sobre la placa, para que no se superpongan las partículas de polvo. Antes de hacer el recuento de las partículas se debe quitar la película de vaselina (véase la sección de este capítulo titulada « Examen de las partículas de polvo »). Las muestras se examinan con un microscopio de laboratorio o de proyección.

El muestreo con el Bergbau-Konimeter, que se utiliza en las minas de la República Federal de Alemania, se puede hacer sosteniendo con la mano el instrumento o colgándolo de algún sitio. Antes de hacer funcionar la bomba se debe elevar con precaución la célula de sedimentación hasta que quede detenida y se debe dejar transcurrir 1 minuto para que las partículas de más de 5 micrones se puedan depositar fuera de la zona de aspiración del conducto.

El examen al microscopio se debe hacer con un objetivo de 16 mm y de un aumento de 150 veces y con iluminación sobre

fondo oscuro. En estas condiciones el límite de visibilidad se acerca a 0,2 de micrón. El recuento se hace con un ocular especial en el cual hay grabado un retículo y que tiene dos sectores de 18 grados (véase la figura 121). El número de partículas de polvo que hay en estos dos pequeños sectores es la décima parte del total del polvo presente, de modo que multiplicando ese número

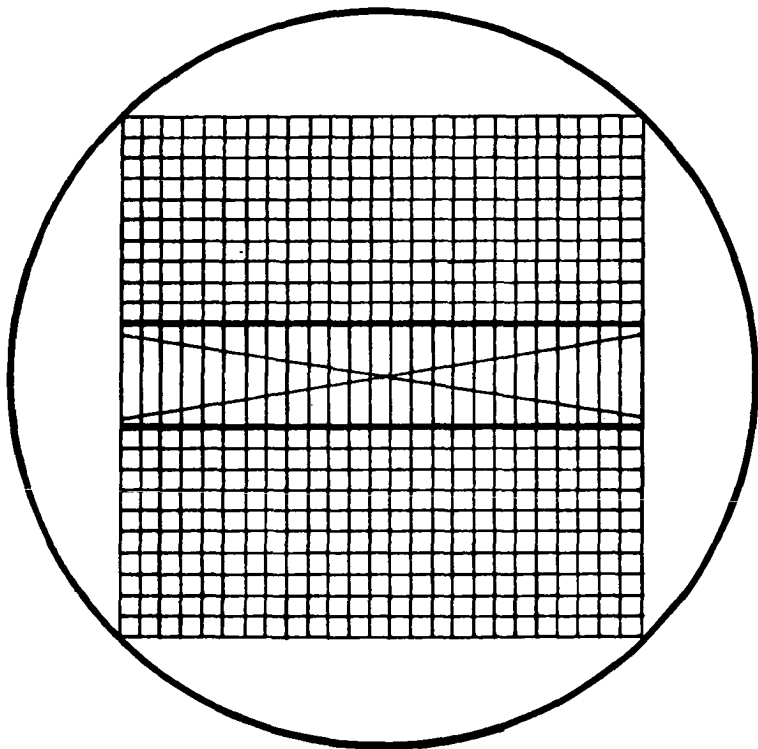


FIG. 121. — Retículo para el examen de muestras tomadas con el conímetro.

por 10 y dividiendo el resultado por el volumen de aire aspirado por la bomba se obtendrá el número de partículas por centímetro cúbico. También en este caso es aconsejable tener únicamente en cuenta las partículas de entre 0,5 y 5 micrones.

Algunos técnicos que dudan de la exactitud de los resultados por este método obtenidos utilizan la iluminación sobre fondo claro. En este caso, con un aumento de 150 veces el límite inferior de visibilidad es de alrededor de 1 micrón.

Con las muestras tomadas con el conímetro se obtienen únicamente valores instantáneos de la concentración del polvo en suspensión en el aire, y para determinar la concentración media hay que seguir tomando muestras durante largo tiempo a intervalos de entre 1 y 3 minutos. En cualquier caso, para cada muestra se debe hacer funcionar el conímetro por lo menos tres veces.

Las partículas de carbón que existen en las muestras tomadas en las minas de carbón se pueden eliminar por incineración, de ser preciso, y una segunda medición permitirá determinar la proporción de partículas de roca.

Muestras tomadas con instrumentos filtrantes

La determinación de las partículas de polvo que contienen las muestras tomadas con instrumentos filtrantes se puede hacer pesándolas o por recuento. El procedimiento utilizado dependerá de la naturaleza del material de filtro, que puede ser el papel o alguna substancia como el tetracloronaftaleno o el éster de celulosa.

Para el recuento de las partículas se pasa el filtro a un aparatito que lo sujeta y se lo examina al microscopio con iluminación sobre fondo oscuro. El número de partículas se calcula partiendo de la cantidad contada, del tamaño de la superficie libre de filtración y del volumen de aire aspirado a través del filtro. A veces se utiliza un filtro de color verde que permite distinguir las partículas de carbón de las partículas de roca, y así determinar la proporción entre una y otra clase de partículas sin necesidad de recurrir a la incineración.

Hay otro método de recuento, que es el siguiente: se mete el filtro en el aceite que se utiliza para los trabajos con microscopio a fin de hacerlo transparente y se cuentan las partículas al microscopio bajo la luz incidente. Si el depósito es suficientemente espeso se puede raspar el polvo cuidadosamente para hacerlo caer sobre una platina que luego se prepara corrientemente.

Si se ha de pesar el polvo recogido, el muestreo se debe prolongar durante varias horas, para reunir una cantidad suficiente. Los filtros deben ser pesados antes y después del muestreo, y si se desea determinar la cantidad de polvo que puede originar una neumoconiosis se debe incinerar la muestra obtenida para eliminar las materias orgánicas y las substancias carbónicas y aceitosas. Se pesa el crisol antes y después de la incineración y la diferencia de peso permite calcular el de las partículas que interesan, ya que el peso de las cenizas de un papel de filtro miliporo es desdeñable.

Si se utilizan filtros solubles se determina el peso del polvo o el número de partículas después de disolver el filtro en bencina y de someter el residuo de polvo a la fuerza centrífuga, como se hace en el caso del midget-impinger. Si se desea, se puede recoger una cantidad de polvo suficiente para determinar el tamaño de las partículas por sedimentación o cribado (2 g, aproximadamente), pero debe tenerse en cuenta que la separación de la parte respirable de partículas y la determinación del tamaño por sedimentación rara vez corresponden a las condiciones reales en que se encuentra el polvo en suspensión en el aire, a causa de la destrucción de las aglomeraciones de partículas y hasta de la pérdida de la cohesión natural, especialmente en el caso de los minerales arcillosos.

Filtro Göthe.

El filtro Göthe (véase la lámina X) es un instrumento que se debe preparar y al que se le debe colocar el filtro de papel antes de entrar en la mina. Durante la medición, la velocidad de aspiración debe corresponder a la velocidad de la corriente de ventilación, que es lo que sucede mientras la aguja del instrumento marca cero. Al verificar la posición en cero de la aguja se debe cuidar de que los dos orificios estén cerrados.

El mejor procedimiento para extraer el polvo del filtro es el siguiente: se sumerge por completo en un líquido la cara exterior de la cubierta del filtro, y dado el vacío que se ha producido en el recipiente de aspiración el líquido ejerce una presión hacia el interior y arrastra con él las partículas de polvo. El líquido cargado de polvo se acumula en el recipiente de aspiración y se lo puede someter a los exámenes que se deseen. Los resultados se pueden falsear considerablemente si se golpea el filtro para sacarle el polvo o por la diferencia de peso del filtro con polvo y sin él, especialmente si la cantidad de polvo es pequeña.

Filtro Füssel y bomba a mano Dräger.

El filtro Füssel y la bomba a mano Dräger son instrumentos de filtración con filtro de membrana, y el método de evaluación es con los dos el mismo.

En el filtro Füssel, la membrana filtrante se debe colocar en el portafiltros antes de bajar al fondo de la mina. Para estabilizar el filtro se debe utilizar como soporte un papel de filtro o un trozo de gasa, pero primeramente se debe medir para cada filtro el volumen de aire correspondiente a un vacío determinado mediante un contador de gas o un medidor de flujo. La operación debe durar el tiempo suficiente para poder determinar el peso del polvo. No obstante, si únicamente se desea determinar el número de partículas bastará con 15 minutos. Para esta operación son preferibles los filtros de color verde. El cambio de los filtros después de cada operación se puede hacer rápidamente.

Para hacer el recuento de las partículas o para determinar la composición del polvo por tamaño de partículas es preferible utilizar la bomba Dräger, que es más manuable. Antes de tomar la muestra se colocan los filtros verdes en el portafiltros, que tiene un dispositivo tensor. Los portafiltros están atornillados sobre un receptáculo múltiple en el que quedan encerrados los filtros y que es impenetrable al polvo. Antes de efectuar una medición se monta sobre la bomba el filtro que se ha de utilizar. Durante la toma de las muestras la superficie de los filtros debe estar en posición

horizontal y paralela a la corriente de ventilación, ya que los cambios en la dirección de la aspiración, especialmente si la velocidad del aire es grande, pueden modificar los resultados. Cada movimiento aspirante de la bomba (100 cm³ de aire) dura unos cuatro segundos, y el número de carreras del pistón depende de la concentración del polvo, pero por regla general es de entre 5 y 20.

Las partículas se pueden contar en el propio receptáculo de los filtros, de modo que no es necesario sacarlos.

Bomba a mano P.R.U.

Con la bomba P.R.U. el procedimiento de muestreo es fundamentalmente el mismo que con la bomba a mano Dräger.

El opacímetro que se utiliza para las mediciones consiste en dos fuentes de luz, las cuales iluminan una célula fotoeléctrica. El portafiltros está colocado entre ambas fuentes luminosas y se mide con un galvanómetro la cantidad de luz absorbida por la mancha de polvo. Hay que calibrar el aparato previamente, sobre toda la extensión de la escala del galvanómetro. La cantidad de polvo se determina tomando como base los valores de absorción que marca el aparato, el número de carreras del pistón y el factor de calibración, el cual debe ajustarse cada vez a la composición del polvo que se mide. Para obtener resultados satisfactorios es necesario que la mancha de polvo sea relativamente espesa.

Aparato Le Bouchet.

El aparato Le Bouchet se debe utilizar de la manera ya indicada anteriormente, al exponer el procedimiento que se sigue en Francia para la toma de muestras.

Propiedades de los filtros de membrana.

Las personas que utilizan filtros de membrana deben conocer las características de los diversos tipos de membranas existentes. A pesar de su naturaleza, la mayor parte de las membranas de filtro tienen una gran resistencia mecánica. Su espesor varía, según

su permeabilidad, entre 100 y 300 micrones. A continuación se dan las características de una serie tipo de filtros alemanes, a título de ejemplo.

| Designación | Permeabilidad al aire: 1 min/100 cm ² /500 mm de columna de agua | Diámetro medio de los poros (en micrones) | Capacidad aproximada de retención del polvo (en micrones) |
|-------------------------------|---|---|---|
| AF 600 | 700-500 | 5-10 | 1 |
| AF 400 | 500-300 | 3- 5 | 0,5 |
| AF 250 | 300-200 | 1- 3 | 0,5 |
| AF 150 | 200-100 | 0,7- 1 | 0,3 |
| AF 100 | 100- 50 | 0,6-0,8 | 0,3 |
| AF 50 | 50- 30 | 0,5-0,7 | 0,3 |
| AF 30 | 30- 15 | 0,3-0,5 | 0,1 |
| AF 15 | 15- 10 | 0,2-0,3 | 0,1 |
| MF verde intermedio | 25- 20 | 0,3-0,5 | 0,1 |

Precipitador térmico

La medición con el precipitador térmico exige una preparación muy detenida. Es necesario limpiar y verificar cuidadosamente las baterías y el dispositivo de aspiración por desplazamiento del agua. Los cubreobjetos que se utilizan como platinas se deben limpiar y examinar al microscopio antes de colocarlos en el instrumento. Antes de tomar la muestra se debe dejar transcurrir un breve período inicial de calentamiento del aparato para eliminar todas las partículas que en él pueda haber. Luego se colocan en su sitio las platinas y se elige el volumen de aire que se ha de aspirar, que debe ser de entre 2 y 7 cm³/min a una corriente de 1,5 amperios. El volumen total del aire aspirado deberá depender del contenido de polvo que se prevé, y habrá de ser de entre 100 y 400 cm³.

Si el espesor de la muestra es excesivo será difícil el recuento de las partículas y se producirán errores de cálculo. Se debe tratar de conseguir la densidad óptima de 75 partículas en una banda de

30 micrones de ancho; si la densidad es superior, la superposición de las partículas puede dar lugar a errores considerables, especialmente si se trata de partículas gruesas. Si la densidad es inferior habrá que tener en cuenta la posibilidad de error debida a la presencia de cuerpos extraños. Las indicaciones proporcionadas por precipitadores térmicos modificados, que no recogen las partículas gruesas o que reparten la muestra sobre una superficie más extensa, tienen menos probabilidades de estar falseadas por la superposición de las partículas.

Las investigaciones recientemente realizadas han mostrado que en algunos casos se puede calcular el factor de corrección que hay que aplicar para eliminar los errores debidos a la superposición de las partículas y que también se pueden evaluar las densidades límites para que no pueda haber errores apreciables por exceso o por falta de densidad, pero hay que confirmar estos cálculos mediante ensayos prácticos. Cuando se aplican los métodos corrientes y se conocen las características del polvo se puede prescindir de estas correcciones al hacer los muestreos usuales.

El recuento de las partículas de polvo recogidas con un precipitador térmico se efectúa en dos operaciones fundamentales: i) preparación y colocación de las placas sobre las cuales se hallan las muestras de polvo; ii) recuento propiamente dicho. Es indispensable que estas operaciones se efectúen en un laboratorio debidamente equipado, en que el aire sea limpio y esté libre de polvo. También hay que asegurarse de que el equipo de laboratorio, las mesas, etc., están bien limpios. Lo mismo que con las muestras tomadas con el conímetro, si se quiere hacer el recuento de las partículas de sílice se puede incinerar la muestra y tratarla con un ácido.

Si se desea conservar las muestras se las debe preparar de la manera habitual en portaobjetos, pero si no es preciso conservarlas después de hecho el recuento se las puede montar en forma provisional, para lo cual hay un procedimiento bastante práctico (véase la figura 122).

Para el recuento es necesario un objetivo seco de muy buena calidad y con una amplia abertura. Existen retículos que facilitan

la determinación del tamaño de las partículas; tienen marcados círculos de diferentes diámetros que con el adecuado aumento corresponden a tamaños de partículas de 0,5, 2,5 y 5 micrones (véase la figura 123). Para el recuento con gran aumento (1.000 veces) es preferible un objetivo de inmersión. En el anexo 4 se expone un método de recuento con el microscopio.

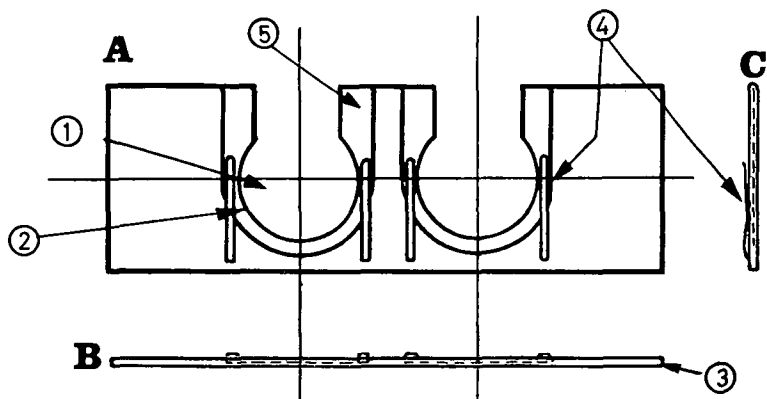


FIG. 122. — Placa de metal para el montaje provisional de las láminas sobre las cuales se hallan las muestras de polvo tomadas con el precipitador térmico, para el recuento de las partículas.

A: Vista desde arriba. B: Corte longitudinal. C: Corte transversal.

1: Aberturas de 17 mm de diámetro. 2: Ranura anular de 15 mm de profundidad. 3: Espesor de las láminas (1 mm). 4: Pinzas de resorte de acero. 5: Parte de la placa de espesor reducido a 0,15 mm.

Balanza de Gast

La balanza de Gast, que tiene un dispositivo de medición muy delicado, se debe manejar con sumo cuidado. Antes de la medición se inserta en el soporte una banda de papel sobre la cual se registran automáticamente las mediciones. El volumen de aire aspirado puede ser de 1 o de 5 litros, durando la precipitación 54 segundos en el primer caso y 270 segundos en el último. A la precipitación siguen automáticamente el pesaje, la limpieza de la cubeta y la vuelta a cero. En total, el tiempo de medición puede

prolongarse hasta 24 horas. En una segunda cámara de medición se sigue precipitando ininterrumpidamente el polvo sobre una película que se va desenrollando lentamente y que más tarde se puede examinar con microscopio.

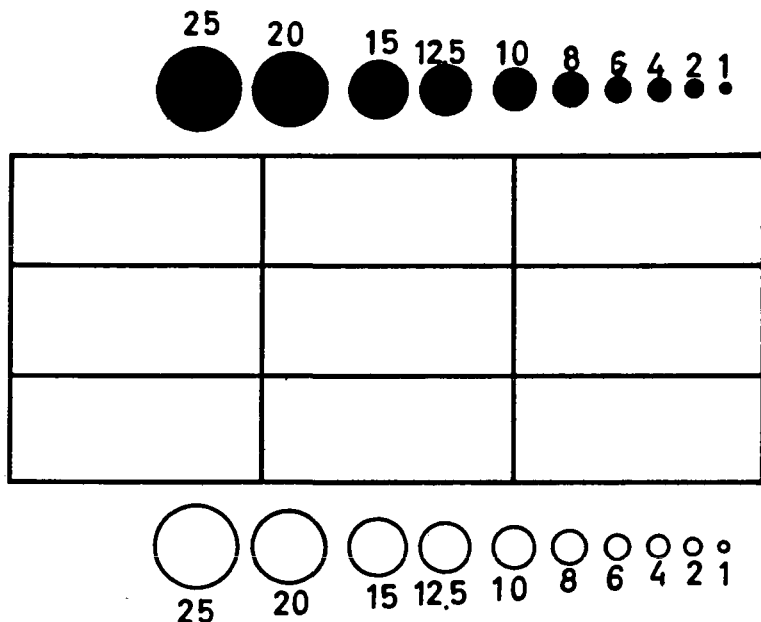


FIG. 123. — Reticulo para la determinación del tamaño de las partículas de las muestras de polvo tomadas con el precipitador térmico.

En este modelo, previsto para un aumento de alrededor de 1.000 veces, la anchura de un pequeño rectángulo es de entre 0,0085 y 0,0087 mm; las cifras indicadas, divididas por 5, dan aproximadamente las dimensiones en micrones de las partículas correspondientes. Con este retículo se pueden clasificar las partículas por tamaños y con arreglo a su frecuencia.

Examen de las partículas de polvo

Las muestras recogidas sobre placas de vidrio en la atmósfera de las minas (con el conímetro o con el precipitador térmico, por

ejemplo) consisten en partículas de polvo de roca y de carbón y en partículas de origen orgánico. Hay muchos autores que estiman que este último grupo de partículas, que se encuentra normalmente en la atmósfera, no representa un peligro adicional para la salud

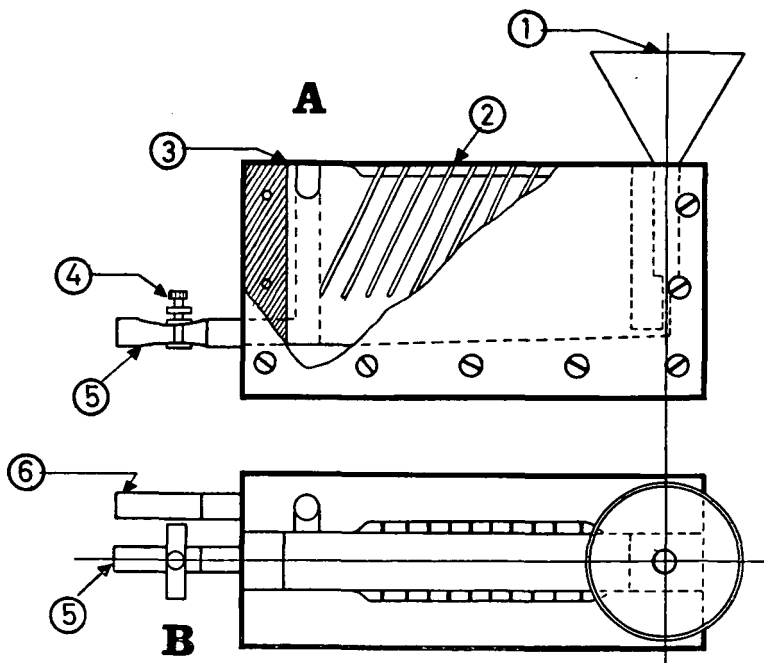


FIG. 124. — Célula de inmersión para el tratamiento de las muestras de polvo.

A: Vista lateral. B: Vista desde arriba.

1: Embudo. 2: Ranuras donde entran las platinas. 3: Canal de rebose. 4: Pinza a tornillo. 5: Tubo de desagüe. 6: Tubo de rebose.

en las concentraciones que se suelen hallar en las minas, y como pueden falsear considerablemente los resultados de las mediciones se considera preferible eliminarlas antes de hacer el recuento.

Lo mismo puede decirse de las partículas que se encuentran en las minas donde el agua que se emplea en la perforación y para la supresión del polvo está muy cargada de sales solubles. Estas sales se depositan sobre las platinas y quedan en ellas al evaporarse el agua.

En las minas que no son de carbón, donde este tratamiento puede estar justificado, se recomienda que se pase la platina por un horno de mufla o que se la ponga sobre una placa de acero inoxidable a 550° C durante unos veinte minutos. Para la eliminación de las sales solubles se deben introducir las platinas en una solución al 50 por ciento de ácido clorhídrico calentada hasta la ebullición, y luego se las debe lavar con agua destilada hirviendo. En la figura 124 se puede ver un recipiente adecuado para llevar a cabo esta operación.

Si se hace el recuento en las manchas de polvo antes y después de este tratamiento se obtendrá una indicación aproximada del grado de contaminación.

Determinación de la composición del polvo por tamaños de partículas

Al hacer el recuento de las partículas puede ser necesario determinar su tamaño. La medición longitudinal de las partículas se puede efectuar por comparación con una escala incorporada al ocular del microscopio, por microproyección o por proyección de una microfotografía sobre una pantalla. En las figuras 121 y 123 se han reproducido algunos retículos adecuados para la medición del tamaño de las partículas y para el recuento directo del número de partículas existentes en las muestras obtenidas con el coniómetro.

EVALUACIÓN DEL RIESGO CONIÓTICO

En muchos países, teniendo en cuenta la naturaleza de las concentraciones de polvo existentes en la clase de minas de que se trata, se ha fijado o se ha recomendado una concentración máxima

de polvo que no debería ser sobrepasada. Al fijar este máximo se deben tener presentes la composición mineralógica del polvo existente y su nocividad. Ya se han indicado anteriormente las dificultades con que se tropieza para establecer una relación entre el riesgo coniótico y una clase de polvo determinada y para averiguar la naturaleza de todas las concentraciones de polvo en suspensión. En algunos países, sin embargo, se han establecido métodos de interpretación de los resultados tomando en consideración estos factores. Pueden servir de ejemplo los métodos que se siguen en la República Federal de Alemania y en Francia.

República Federal de Alemania.

En la República Federal de Alemania, para determinar el riesgo coniótico se utiliza un sistema en que se toma como base un coeficiente de concentración del polvo, sistema ligeramente modificado por la Asociación de Empresas Extractoras de Carbón para su utilización en las minas de carbón.

El método de evaluación está basado en la medición de las partículas de polvo de menos de 5 micrones con el tyndaloscopio (expresándose los resultados en mg/m^3), o tomando muestras con el conímetro y en algunos casos con un midget-scrubber combinado con un pre-impinger. La composición de la fracción respirable del polvo de estas muestras se determina luego por análisis mineralógico. El contenido en minerales se expresa para cada uno de ellos por medio de un « factor mineral », del que a continuación se dan varios ejemplos.

Cuarzo: 1,0;

Feldespato, mica y silicatos: 0,7 cuando el contenido en cuarzo es superior a 25 por ciento; 0,5 cuando el contenido en cuarzo es de entre 6 y 25 por ciento; 0,3 cuando el contenido en cuarzo es de entre 1 y 5 por ciento; 0,2 cuando no existe cuarzo;

Substancias arcillosas: 0,2;

Carbonatos y sulfatos (salvo sus compuestos cálcicos) y minerales en general: 0,1;

Óxido de hierro, hidróxido de hierro y carbón: 0,01;

Piedra caliza y yeso: 0.

Si se multiplica la proporción de determinado mineral que contiene el polvo por el factor correspondiente se obtiene el coeficiente mineral de ese elemento constituyente. Este coeficiente se multiplica luego por la cantidad de polvo medida en mg/m^3 y el resultado se divide por 10, obteniéndose así el índice de riesgo coniótico. Los índices de riesgo coniótico se dividen en cuatro grupos cuya significación es la siguiente:

- De 0 a 25 Inofensivos.
- De 25 a 50 Poco nocivos.
- De 50 a 100 Cada vez más nocivos, a medida que aumenta el tiempo de exposición; se deberían tomar medidas de protección.
- Más de 100 Nocivos; hay que tomar medidas de protección.

En las minas de la República Federal de Alemania se utiliza el tyndaloscopio para medir la concentración del polvo y el conímetro para determinar la relación carbón-roca. Los valores angulares que indica el tyndaloscopio se leen después de transcurridos 20 segundos de sedimentación. La relación entre las partículas de carbón y las partículas de roca en las muestras obtenidas con el conímetro únicamente se calcula para las partículas de entre 1 y 5 micrones. Partiendo de los datos obtenidos con el tyndaloscopio y de la proporción de roca que contiene la muestra se puede determinar la carga de polvo con ayuda de una tabla especial.

Por regla general, los niveles, que son los que se indican en el cuadro que se incluye a continuación, se determinan en cada punto de medición haciendo entre 10 y 30 mediciones. El recuento de las partículas de las muestras obtenidas con el conímetro se hace con un microscopio de proyección con un aumento de 360 veces o por el procedimiento de recuento fotográfico, en el cual la mancha de polvo se proyecta sobre un papel fotográfico técnico con un aumento de 180 veces y se la fotografía. El negativo resultante se compara luego con fotografías modelo, en las cuales se han contado previa y cuidadosamente las partículas, y se le atribuye un valor por comparación con estas fotografías.

| Carga de polvo | | Medidas técnicas y equipo de lucha contra el polvo |
|----------------|--|--|
| Nivel | Significación | |
| I. | Ligera | Adecuados |
| II. | Moderada (demasiado elevada como carga general) | |
| III. | Elevada | Deben ser mejorados y completados |
| IV. | Muy elevada | Deben ser mejorados y completados; además, se debe revisar la organización de la empresa |

Francia.

En Francia se ha establecido un índice para cada lugar de trabajo que se utiliza con el aparato Le Bouchet y que es el que da la siguiente ecuación:

$$I = 3,32 \log Ct - k,$$

en la cual C es el promedio de partículas por centímetro cúbico de aire, t es el porcentaje de sílice libre y k es una constante para cada uno de los dos métodos de muestreo que se aplican, que en la actualidad son 10,6 para el primer método y 8,9 para el segundo. Esta cifra puede ser ligeramente modificada a la luz de los resultados de nuevos estudios comparativos.

Las comparaciones metódicamente efectuadas durante varios años entre los índices establecidos como se acaba de indicar y las comprobaciones médicas hechas respecto de muchos lugares de trabajo de diversas clases han hecho que actualmente se acepte que cuando el índice es igual o superior a 6 las condiciones del

lugar de trabajo se pueden mejorar y que en esos lugares se deben tomar muestras con mayor frecuencia que en aquellos en que el índice es igual o inferior a 5, en los cuales las condiciones se pueden considerar satisfactorias. El intervalo que debe transcurrir entre una muestra y otra en los lugares de trabajo cuyo índice es de entre 5 y 6 dependerá de las condiciones existentes en cuanto a las medidas de prevención del polvo y de las mejoras que se puedan introducir.

ANÁLISIS

Además de determinar el número de partículas y su distribución por tamaños, si se quiere evaluar el riesgo que entraña el polvo desde el punto de vista de la higiene industrial hay que averiguar también su composición mineralógica. Se ha tratado de establecer sencillos métodos de análisis que puedan ser aplicados por personas con poca experiencia en materia de mineralogía. No obstante, como la aplicación de la mayor parte de los métodos analíticos entraña la utilización de aparatos costosos, conviene que, de ser posible, los análisis mineralógicos sean confiados a un laboratorio central.

No es difícil recoger muestras de las rocas y de los minerales que se están extrayendo que puedan ser analizadas, si se exceptúa el caso de la sílice libre. Los resultados de los análisis de estas muestras dan una información muy útil acerca del polvo en suspensión en el aire. Pero se ha comprobado que la composición del polvo en suspensión en el aire en el tamaño de partículas de menos de 5 o 10 micrones y la composición de la roca de que ese polvo procede son en algunos casos bastante diferentes. Por lo tanto, es preciso tomar muestras del polvo en suspensión que inhalan los trabajadores dentro de la mina y en sus alrededores para analizarlas. Para estos análisis mineralógicos se necesita una cantidad de polvo mucho mayor (de 25 a 100 mg) que la que recogen los instrumentos empleados en la toma periódica de muestras para el examen al microscopio.

Los procedimientos de análisis del polvo se pueden clasificar de la manera siguiente:

a) procedimientos químicos, entre los cuales figuran diversos métodos para determinar el contenido de cuarzo y los procedimientos de determinación de la proporción de carbón que contiene el polvo por incineración o por medio del ácido fosfórico;

b) exámenes con microscopio (la coloración por inmersión, sobre fondo oscuro o en contraste de fase, es un procedimiento que se utiliza mucho);

c) análisis con rayos X, basados en la difracción de los rayos X por las sustancias cristalinas;

d) análisis térmico diferencial, basado en las diferencias entre las temperaturas a que experimentan ciertas modificaciones los diferentes componentes del polvo.

Procedimientos químicos

Los procedimientos químicos para la determinación del contenido de cuarzo o de sílice libre del polvo son de dos grandes clases:

a) utilización de reactivos que disuelven los silicatos y otros componentes minerales del polvo, pero que no disuelven el cuarzo;

b) utilización de reactivos que descomponen los silicatos y liberan la sílice combinada en forma de ácido silícico o de sílice amorfa, y luego disolución del ácido silícico en una solución alcalina.

Para obtener resultados satisfactorios es preciso que los silicatos se disuelvan o descompongan lo más completamente posible y que el cuarzo, por el contrario, se disuelva lo menos posible. En la práctica no se ha encontrado ningún reactivo que descomponga eficazmente los silicatos sin disolver en cierta medida el cuarzo o la sílice libre.

Entre los reactivos del grupo a) se ha sugerido que se utilicen el ácido hidrofusosilícico y el ácido hidroflobórico, por ejemplo. Se deja que el reactivo actúe sobre la muestra durante un periodo de entre 24 y 48 horas, y luego se lo filtra. Este procedimiento da

buenos resultados con las muestras de partículas gruesas, respecto de las cuales se puede hacer una corrección para tener en cuenta la pequeña cantidad de cuarzo disuelta, pero no es aplicable en el caso de las muestras de partículas finas, porque la cantidad de cuarzo disuelta es demasiado grande.

Los mejores procedimientos son fundamentalmente los del grupo *b)* en que se utiliza el piro sulfato de potasio para descomponer los minerales. Se han ideado métodos muy eficaces que permiten analizar con buenos resultados pequeñas cantidades de polvo. Las investigaciones realizadas para comprobar la exactitud de los resultados obtenidos con los distintos procedimientos de determinación del contenido de cuarzo o de sílice libre han mostrado que los resultados no siempre son uniformes. Por lo tanto, la validez de los mismos dependerá del método de determinación utilizado.

Determinación del contenido de carbón.

Para determinar la proporción de carbón que contiene el polvo, el método más conveniente es el de la incineración. La temperatura de incineración debe ser de entre 450 y 600° C. Primeramente se debe calentar la muestra durante una hora a 105° C en una estufa de desecación. El crisol de porcelana que se utiliza luego para la incineración debe ser enfriado en un desecador.

Hay un sencillo método analítico para la determinación gravimétrica del contenido de carbonato y de carbón de una muestra recogida con el midget-impinger, el pre-impinger o el midget-scrubber, que consiste en aspirar la muestra directamente en una frita de porcelana en la cual se la deseca a una temperatura de 105° C, tras lo cual se la pesa. Después se vierte en la frita ácido clorhídrico diluido, para disolver el carbonato que existe en el polvo. Se deseca de nuevo la muestra a la temperatura de 105° C y pesándola otra vez se puede determinar la proporción de carbonato. Después se incinera el polvo que contiene la frita, y la diferencia entre el peso antes de la incineración y después de ella permite calcular el contenido de carbón.

Se pueden analizar de la misma manera las muestras de polvo recogidas con filtros de tetracloronaftaleno disueltos en bencina o con filtros de membrana disueltos en acetona.

Exámenes con el microscopio

Se puede utilizar el microscopio para identificar el cuarzo y otros minerales de diversas maneras (luz polarizada, índice de refracción, temperatura de fusión, etc.). Se han hecho ensayos con microscopios ordinarios, por contraste de fase y petrológicos, pero con las partículas de menos de 2 micrones ninguno de estos métodos ha dado buenos resultados, de manera que no son generalmente adecuados para el análisis del polvo respirable. No obstante, los métodos de coloración por inmersión han dado resultados satisfactorios para la determinación del cuarzo, de la mica y del caolín que contiene el polvo de carbón en el tamaño de partículas de entre 1 y 5 micrones. Estos métodos están basados en el fenómeno de la coloración de la luz blanca producido por los minerales transparentes en contraste de fase o sobre fondo oscuro, cuando el índice de refracción de esos minerales es inferior al índice de refracción del medio circundante, medio cuyo poder de dispersión debe ser el mayor posible. Este método es muy adecuado para la determinación del cuarzo, de la mica y del caolín que a menudo se hallan asociados al carbón.

Análisis con rayos X

Al parecer, el análisis con rayos X del polvo en suspensión en el aire, con el espectrómetro con contador Geiger, es un procedimiento muy apropiado para las necesidades de la industria minera, ya que el tamaño de las partículas de que está compuesto ese polvo en suspensión es aquel para el cual este instrumento da los mejores resultados.

El principio en que se basa este instrumento es muy sencillo. Sobre la muestra en estado pulverulento se dirige un estrecho haz de rayos X monocromáticos; las substancias cristalinas que con-

tiene la muestra producirán la difracción de los rayos X de manera que se producen máximos de intensidad de haces en diversos ángulos. La intensidad de esos máximos y los ángulos en que se producen dependen de la estructura cristalina de la sustancia, y nunca son los mismos para dos sustancias diferentes. La intensidad de los máximos depende también de la cantidad de la sustancia correspondiente que existe en el polvo. Por lo tanto, es posible identificar con exactitud todas las sustancias cristalinas y determinar cuantitativamente su proporción.

En la práctica se ha comprobado que en la superficie de una partícula o cerca de ella se producen ciertas perturbaciones de la estructura cristalina, y en las partículas muy pequeñas es posible que el retículo cristalino sufra modificaciones hasta el centro mismo de la partícula. El error a esto debido puede llegar a ser de 10 a 15 por ciento cuando el tamaño de las partículas es de entre 1 y 20 micrones, pero se lo puede reducir tratando las partículas con ácido fluorhídrico o someténdolas a otro tratamiento similar antes de someterlas a los rayos X.

Análisis térmico diferencial

El análisis térmico diferencial da muy buenos resultados con la arcilla y parece ser de utilidad para la determinación de la sílice libre que contienen las rocas y el polvo de las minas. El procedimiento consiste en calentar una pequeña cantidad de la sustancia pulverizada, elevando la temperatura de manera uniforme hasta los 1.000° C, aproximadamente, y registrar las reacciones endotérmicas y exotérmicas que se producen en esa sustancia. Las temperaturas a que se producen estas reacciones térmicas y la intensidad de las mismas son diferentes en muchos minerales, lo cual permite identificarlos y en ciertas condiciones calcular la cantidad presente.

En las diferentes formas cristalinas de la sílice se observan reacciones térmicas características a determinadas temperaturas. La temperatura de inversión del cuarzo es de 573° C; esta temperatura de inversión tan delimitada y el hecho de que el fenómeno se

puede reproducir cuando se lo desee han hecho pensar que se podría utilizar el cuarzo para calibrar los aparatos de análisis térmico. El procedimiento de análisis térmico diferencial es, por consiguiente, de especial interés cuando se trata de evaluar el cuarzo.

Modificando el aparato y la técnica se puede obtener una gran sensibilidad. No obstante, para poder llegar a la estimación cuantitativa exacta habrá que seguir estudiando la cuestión, ya que se ha advertido que la intensidad de las reacciones térmicas características de un mineral puede variar según el tamaño de las partículas y la perfección de su estructura cristalina.

REGISTROS

La toma de muestras y su análisis y medición tienen por objeto obtener datos de aplicación práctica y especialmente datos utilizables para la prevención de las neumoconiosis. Por consiguiente, es fundamental que los datos obtenidos sean los adecuados para este fin y que se los registre de manera que permita utilizarlos lo mejor posible. Así, se pueden necesitar datos para saber si las condiciones existentes en el frente de arranque corresponden o no a las normas admisibles, para saber las medidas que se han tomado y las mejoras logradas o para establecer una correlación entre la concentración del polvo y la frecuencia de las neumoconiosis.

En algunos países se registran gran número de datos respecto de las muestras de polvo, que se anotan en formularios tipos. En todos los casos, entre los datos relativos a cada muestra deberían anotarse las condiciones en que se la ha tomado, la concentración del polvo y los procedimientos de evaluación utilizados. En cuanto a los demás detalles que se deben registrar, sería preferible seguir los formularios que ya se utilizan en diferentes países (véase el anexo 5).

Además de los formularios en que se registran los datos relativos a las muestras que se toman a diario será necesario llevar algún tipo de registro que muestre la evolución de la situación en cuanto

a la presencia de polvo a lo largo de un considerable período de tiempo, y si se quiere establecer una correlación entre esa situación y la evolución de las neumoconiosis se necesitarán datos que permitan efectuar comparaciones para muy largos períodos. Algunos de los formularios que se reproducirán más adelante son para el registro de los datos relativos a las muestras corrientes y cotidianas, mientras que otros son para hacer resúmenes mensuales de los datos registrados.

Cuando se registran datos acerca de las muestras periódicas, una de las cosas importantes es asegurarse de que la información obtenida es estudiada por la dirección de la empresa y por el personal responsable de la mina. Lo mejor que para esto puede hacerse es cuidar de que todos los informes lleguen a manos de todos aquellos a quienes deben interesar, y dejar en ellos un espacio para que estas personas agreguen las observaciones o instrucciones que consideren oportunas respecto de las condiciones que reinan en los lugares de trabajo o de las medidas que se deben tomar para mejorarlas.

CAPÍTULO XVII

EDUCACIÓN Y FORMACIÓN

Muchas veces se ha dicho que la seguridad depende de la técnica, de la educación y de la aplicación práctica de las medidas de prevención, y lo mismo podría decirse de la lucha contra el polvo y de la higiene en las minas, los túneles y las canteras. En este como en otros sectores del amplio campo de la seguridad y la higiene en el trabajo se ha comprobado que el éxito de las medidas de prevención depende en gran medida de los conocimientos, del interés y de la disciplina de todo el personal, desde el administrador general hasta los trabajadores ocasionales. También se ha comprobado que para lograr las condiciones necesarias para el éxito de las medidas de prevención hay que hacer una gran labor de educación, de formación y de propaganda. Por educación se entiende aquí el tipo de instrucción que se da en las escuelas de minas y otros establecimientos de enseñanza, y por formación la que se da durante el empleo, o bien a los alumnos de las escuelas de minas en lugares de trabajo especialmente destinados a la formación profesional o en cursos especiales. Por propaganda se entiende la utilización de toda clase de medios de información y de persuasión, como películas cinematográficas, folletos, revistas, carteles, conferencias, concursos, recompensas, etc.

La dirección de las empresas mineras es la que debe velar por que se apliquen las medidas apropiadas de prevención y de supresión del polvo, mas para que estas medidas den buenos resultados es necesario que todo el personal, tanto el personal dirigente como todos los trabajadores en general, colabore con entusiasmo en la lucha contra el polvo. Es necesario lograr no sólo que todos conozcan los riesgos a que están expuestos, sino también que sepan

desempeñar el papel que les corresponde en la lucha contra ellos y que lo desempeñen lo mejor posible.

La naturaleza de la formación que debe recibir el personal difiere, como es lógico, según el país y según el tipo de explotación minera, pero en términos generales será de tres tipos: en primer lugar, la formación del personal de dirección y de los ingenieros, que generalmente habrán pasado por una universidad o por una escuela oficial de minas; en segundo lugar, la formación del personal de categoría intermedia y de los capataces, que en gran parte habrán recibido su formación en la misma industria minera; en tercer lugar, la formación de todos los trabajadores semicalificados y de todas las demás clases de trabajadores empleados en las minas y en otras actividades similares, labor esta última de formación práctica y de propaganda. Además, es necesario asegurar la formación de personal especializado en número suficiente para realizar las tareas que lleva consigo una campaña de lucha contra el polvo.

FORMACIÓN DEL PERSONAL DIRIGENTE

Las escuelas y los establecimientos de enseñanza donde se forma el personal dirigente deberían incluir en sus programas de estudios la cuestión de la lucha contra el polvo y la de la ventilación. Ya se lo ha hecho así en muchos de estos centros de enseñanza, pero en algunos casos se podría estudiar la posibilidad de insistir algo más en estas dos cuestiones y de tratarlas más detalladamente. En algunos países se han organizado breves cursos de perfeccionamiento para personal dirigente. En uno de ellos los cursos duran cinco días y consisten en conferencias, demostraciones y visitas a un hospital, a un laboratorio y a una mina. El programa de estudios comprende las materias siguientes:

- a) historia y aspectos médicos de las enfermedades originadas por el polvo;
- b) métodos para la supresión del polvo y organización de la lucha contra el polvo;

- c) medición de las concentraciones de polvo;
- d) efectos del polvo sobre la salud;
- e) condiciones existentes en las minas.

El personal de categoría intermedia (contra maestres, capataces, jefes de equipos de trabajos preparatorios, jefes de equipos de perforación de pozos, etc.) debe recibir una formación menos avanzada pero de orden más práctico que la del personal superior de dirección. Se debería reunir a ese personal para explicarle la naturaleza de las neumoconiosis, el riesgo que entraña el polvo y las causas de la producción de polvo. Los métodos de lucha contra el polvo empleados en la mina deberían ser objeto de demostraciones prácticas, para que este personal se familiarice con todos los aparatos que se le proporcionan y sepa utilizarlos correctamente. A menudo se comprueba que existe una gran resistencia por parte de los trabajadores a utilizar un aparato o a seguir las instrucciones que se les han dado, sobre todo cuando ello parece ir en detrimento de la producción, si las malas consecuencias de esa resistencia no son inmediatamente visibles. La formación del personal de categoría intermedia debe tender no sólo a que este personal aplique de buen grado las medidas prescritas, sino también a capacitarlo para que pueda convencer a los demás trabajadores de que es preciso aplicar esas medidas rigurosamente.

FORMACIÓN DE LOS TRABAJADORES

En varios países se han tomado toda una serie de disposiciones para asegurar la formación del personal de las minas: creación de establecimientos centrales de formación en cada cuenca minera; creación de escuelas en determinadas minas; reserva de sectores de minas o de frentes de arranque para fines de formación; organización de cursos breves para personal de diferentes categorías. En todos estos programas de formación se puede incluir la cuestión de la prevención y la supresión del polvo. No obstante, en muchos casos no habrá escuelas ni cursos a los que puedan asistir todos los trabajadores del fondo, y el personal de categoría intermedia será

el que deberá hacer comprender a los trabajadores los peligros a que están expuestos y explicarles los medios por los cuales se los reduce o se los elimina.

La educación de los trabajadores en cuanto se refiere a su seguridad debería consistir en informarlos concretamente de la magnitud del riesgo que entraña el polvo y de cómo se lo puede reducir al mínimo aplicando las medidas de prevención establecidas. Se les debería dar toda clase de explicaciones para que comprendan perfectamente la naturaleza del riesgo y se den cuenta de la utilidad de los aparatos y de las medidas para combatirlo. No basta simplemente con afirmar que se deben tomar ciertas precauciones, sino que hay que dar todas las explicaciones necesarias. Además, hay que insistir en la responsabilidad de cada uno de los trabajadores para con los demás si no hace cada cual lo necesario para evitar una excesiva producción de polvo.

El método pedagógico debe ser el adecuado para la formación del grupo de trabajadores de que en cada caso se trate. A veces da muy buenos resultados la distribución de folletos o volantes ilustrados, en los que se pueden exponer el riesgo que entraña la inhalación de partículas microscópicas de polvo, los peligros a que expone la perforación en seco, la manera como se debe emplear el agua en la lucha contra el polvo, los principios fundamentales de la ventilación, etc.

También son muy útiles las charlas y las conferencias, en las que se pueden explicar los problemas de manera comprensible para los distintos grupos de trabajadores y en las que se pueden tratar las mismas cuestiones que en los folletos y en los volantes, y que de ser posible deberían ir acompañadas de la proyección de diapositivas o de cortas películas cinematográficas sobre cuestiones técnicas. Las charlas o conferencias deberían ser breves, y los oyentes deberían tener la posibilidad de formular preguntas y de discutir los problemas en ellas tratados. El personal dirigente, los conrmaestres, etc., deberían asistir a estas conferencias, estableciéndose así un contacto personal entre todos los interesados.

En el caso del personal semicalificado temporal u ocasionalmente empleado en las minas (y en mayor cantidad aún en los

túneles y las canteras) se complica el problema debido a la inestabilidad de esta mano de obra, que en muchos casos carece de la formación necesaria para el trabajo minero y que puede ser mano de obra de temporada procedente de diferentes países, lo que crea dificultades de orden lingüístico. La distribución de folletos y la exhibición de carteles redactados en varios idiomas pueden facilitar la difusión de ciertas normas de lucha contra el polvo. Las charlas deberían dirigirse, de preferencia, a pequeños grupos, y el personal de categoría intermedia debería tratar de mantener un contacto personal con los trabajadores para despertar y mantener en ellos el interés por la cuestión.

FORMACIÓN DE PERSONAL ESPECIALIZADO EN LA LUCHA CONTRA EL POLVO

En todas las minas donde se efectúan operaciones subterráneas de cierta importancia debería existir un equipo de especialistas en cuestiones de ventilación y de supresión del polvo. Este equipo, compuesto de personas con formación científica o de ingeniero y también de un gran número de personas encargadas de la aplicación práctica de las medidas previstas, es de fundamental importancia en la campaña de prevención y supresión del polvo. Entre las diversas funciones que este equipo deberá desempeñar están las siguientes:

a) introducir medidas de lucha contra el polvo en la mina y familiarizar a los trabajadores con la forma general de utilización de todo el equipo de supresión del polvo, enseñándolos al mismo tiempo a revisarlo y a conservarlo en buen estado;

b) recoger muestras del polvo en suspensión en el aire en todos los lugares de trabajo para determinar el grado de concentración, hacer los análisis o las mediciones de estas muestras en el laboratorio y registrar los resultados de la manera adecuada;

c) presentar a la dirección de la mina informes regulares sobre las condiciones existentes en lo que atañe al polvo y sobre la eficacia de los métodos de lucha que se están aplicando.

El personal que ha de encargarse de la aplicación de las medidas de lucha contra el polvo en la mina misma debería tener cierta experiencia de las condiciones que reinan en el fondo y debería recibir su formación, en la propia mina, del personal que ya está desempeñando esas funciones, formación que debería ser ampliada mediante conferencias o clases organizadas ya sea en la industria minera, ya sea con la colaboración de establecimientos de enseñanza técnica. En algunos países se organizan exámenes sobre estas cuestiones y se expiden certificados de formación elemental o de formación superior.

Se deberían preparar programas de estudios detallados en los que deberían estar incluidos los temas siguientes:

a) conocimientos generales sobre las neumoconiosis, incluidas su historia, sus causas y su diagnóstico;

b) origen, naturaleza y comportamiento del polvo y riesgos que el polvo entraña;

c) métodos de lucha contra el polvo y cuestiones conexas de interés particular (sobre todo el suministro de agua y su utilización);

d) ventilación y lucha contra el polvo, particularmente en los frentes de arranque, en los trabajos preparatorios, en los puntos de carga y en las vías de transporte;

e) toma de muestras del polvo, dando particular importancia a los métodos utilizados en la mina de que se trate;

f) determinación de la concentración del polvo (recuento con el microscopio y demás métodos utilizados en la mina de que se trate), presentación de informes y registro de los resultados;

g) ventilación de las diferentes clases de lugares de trabajo, métodos de medición, utilización de todos los aparatos y cálculos elementales;

h) construcción y utilización de las máquinas y los dispositivos en que se utiliza el agua para la precipitación del polvo, como los martillos picadores y las perforadoras con inyección de agua, las

rozadoras con pulverización de agua, los rociadores y los dispositivos de infusión del macizo.

A los miembros del equipo de lucha contra el polvo se les puede dar una formación especial para determinados aspectos de esta labor. Algunas veces no es el mismo personal el encargado de la aplicación práctica de las medidas de supresión del polvo y el que toma las muestras. En ciertas minas, los trabajos de laboratorio se confían a un servicio central especializado, mientras que en minas más pequeñas la persona que toma las muestras puede tener que hacer también el trabajo de laboratorio y el de evaluación. En las minas grisuosas, el personal encargado de la ventilación puede asimismo tener que estudiar los desprendimientos de metano y las medidas que se deben tomar para evitarlos, y en cambio no ocuparse para nada de las medidas de lucha contra el polvo. La clase de personal necesario y la distribución del trabajo dependerán de las circunstancias de cada caso.

En la explotación de minas y en la perforación de túneles se han hecho estos últimos años grandes progresos técnicos. En todas las operaciones se han introducido nuevos métodos de trabajo y nueva maquinaria, lo cual ha dado por resultado una mayor concentración del trabajo y un aumento de la velocidad de explotación y de la velocidad de avance en la perforación de túneles y de galerías que exigen métodos más eficaces de lucha contra el polvo. Es necesario dar al personal una formación cada vez mejor en todos los aspectos del trabajo, y en estas circunstancias no debería ser difícil incluir la prevención y la supresión del polvo en los programas de formación y despertar en todos los trabajadores que han de verse expuestos al riesgo del polvo una clara conciencia del problema.

ANEXO 1

**MÉTODO DE RECUENTO CON MICROSCOPIO
DE LAS PARTÍCULAS DE POLVO
QUE CONTIENE EL AGUA DE LAS MINAS**

En este método de recuento con el microscopio ¹ se utiliza una célula de recuento en la que se vierte una parte representativa de la muestra de agua a la que se ha agregado un ácido y que se examina al microscopio con una iluminación sobre fondo oscuro para hacer el recuento de las partículas. El número de partículas de la muestra original se determina luego aplicando el apropiado factor multiplicador.

Conviene utilizar un aumento de 150 veces, aproximadamente, y aunque en el recuento quedarán incluidas las partículas no silíceas insolubles en el ácido (especialmente las de carbono), el resultado obtenido dará una indicación práctica acerca del grado de limpieza del agua de la mina.

Características de la célula de recuento

Si bien se recomienda que se utilice la célula Sedgewick-Rafter, se puede emplear cualquier tipo de célula de recuento microscópico, siempre y cuando se conozca su profundidad y resista a las soluciones ácidas. Las dimensiones interiores más adecuadas de la célula de recuento son las siguientes:

| | |
|-----------------------|-------|
| Longitud | 50 mm |
| Anchura | 20 mm |
| Profundidad | 1 mm |

¹ «A Deep Cell Method of Counting Particles in Mine Waters as Practised on the Mines of the Witwatersrand», publicado en *Quality of Mine Air—Dust Content and Cooling Power* (Johannesburgo, Transvaal Chamber of Mines, 1947).

Preparación de la muestra

Hay que agregar a la muestra el 5 por ciento de ácido clorhídrico para disolver parte de las partículas no silíceas, que de otra manera quedarían incluidas en el recuento. A este respecto cabe señalar que algunas aguas de mina contienen en solución cantidades considerables de hierro y de alúmina, y que estas substancias, si se deja reposar la muestra, se pueden depositar en forma de hidróxidos que no serán completamente disueltos por el ácido. Por lo tanto, una vez recogida la muestra de agua conviene hacer el recuento lo antes posible.

Las muestras de agua tomadas en las minas pueden contener mayor o menor cantidad de partículas. Cuando la concentración de partículas es muy grande habrá que diluirlas un poco antes de hacer el recuento.

a) Muestras que no hay que diluir.

Agítese con fuerza el frasco que contiene la muestra. Viértase en una probeta de 100 cm³ la cantidad de 95 cm³ de agua de la muestra, agréguese 5 cm³ de ácido clorhídrico y mézcleselos con el agua sacudiendo la probeta.

Déjese reposar la muestra durante 15 minutos, agítese de nuevo y viértase inmediatamente en la célula de recuento, llenándola hasta que desborde. Colóquese sobre la célula una placa de vidrio y apriétesela con precaución para eliminar el exceso de líquido. Límpiase asimismo el exterior de la célula de recuento para sacar el líquido que en él pudiera haber.

b) Muestras que hay que diluir.

El grado de dilución más adecuado es el que da por resultado entre 10 y 20 partículas, aproximadamente, por sección de recuento.

Agítese con fuerza el frasco que contiene la muestra. Viértase en una probeta de 100 cm³ la parte de la muestra que corresponda, según el grado de dilución que se desee (el cual puede variar de 0 a 1/20, según la concentración de las partículas en la muestra). Agréguese 5 cm³ de ácido clorhídrico y luego dilúyase el contenido de la probeta agregando agua destilada pura hasta que mida 100 cm³.

Ejemplo. — Si parece indicada una dilución de 1/5, viértanse en la probeta 20 cm³ de la muestra, agréguese 5 cm³ de ácido clorhídrico y luego agréguese agua destilada hasta que el contenido de la probeta

mida 100 cm³. De este modo se obtendrá una dilución de 1/5 (20/100) que contendrá 5 por ciento de ácido clorhídrico.

Si se desea una dilución de más de 1/5 se podrá utilizar una probeta de 200 o de 500 cm³ de capacidad.

Después de la dilución agítese el contenido de la probeta y déjeselo reposar durante 15 minutos. Agítelo de nuevo e inmediatamente después llénesse la célula de recuento de la manera indicada en la sección a) anterior.

Precauciones que hay que tomar antes de hacer el recuento

Antes de hacer el recuento, límpiense con un pedazo de tela la parte superior y la parte inferior de la célula de recuento para sacar toda película que pueda recubrirla y evitar el vaho debido a la evaporación del exceso de líquido que pueda haber, que pueden dificultar mucho el recuento con iluminación sobre fondo oscuro.

Verifíquese regularmente el contenido de partículas del ácido clorhídrico y el agua destilada, para evitar errores.

Características del microscopio

El recuento se efectúa, como se ha dicho antes, con iluminación sobre fondo oscuro, y la técnica de observación es parecida a la que se utiliza para el examen de las muestras de polvo tomadas con el conímetro.

Ocular compensador con aumento de 15 veces;

Objetivo apocromático de 16 mm y de abertura numérica de 0,25 por lo menos;

Lente condensadora Abbe, abertura numérica 1,2;

Diafragma de 9 mm de diámetro (o del diámetro más adecuado) para colocar debajo de la lente condensadora y dar iluminación sobre fondo oscuro;

Retículo del ocular cuadrículado;

Platina de carro normal.

Se puede utilizar el retículo que se emplea para el examen de las muestras tomadas con el conímetro, utilizándose en el método que aquí se describe la parte cuadrículada. Se debe medir el tamaño aparente de los cuadrados del retículo, para lo cual se necesita un micrómetro de portaobjetos. Por regla general, los cuadrados tienen 40 micrones de lado.

Posición de la lente condensadora

Colóquese la célula de recuento sobre la platina del microscopio y enfóquese el microscopio sobre el fondo de la célula. Ajustese luego la lente condensadora hasta que las partículas que se encuentran sobre el fondo de la célula se destaquen con la luminosidad máxima.

Recuento

Se hace recuento de las partículas en cinco secciones diferentes de la célula. Por regla general, se toma como sección de recuento un grupo de cuatro cuadrados contiguos. En la figura 125 se podrá ver la posición de las secciones de recuento.

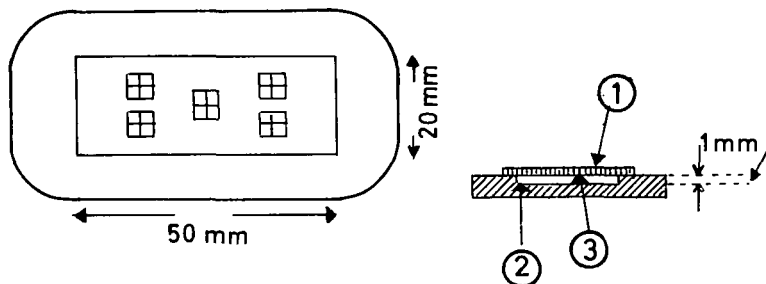


FIG. 125. — Posición de las secciones de recuento en una célula para el examen de las muestras de polvo con el microscopio.

1: Parte superior del cubreobjetos. 2: Fondo de la célula. 3: Parte inferior del cubreobjetos.

Primeramente se cuentan todas las partículas visibles que hay en el fondo de la célula dentro de una sección. Luego se cuentan las partículas en suspensión en esa misma sección, elevando lentamente el tubo del microscopio hasta enfocar la superficie inferior de la placa de vidrio que cubre la célula de recuento, cuidando de no contar como partículas las imperfecciones de la placa de vidrio. El número total de partículas de una sección es la suma de las partículas existentes en el fondo y de las partículas en suspensión. En las cuatro secciones restantes se hace el recuento de la misma manera.

*Cálculo de la concentración de las partículas*a) *Cálculo de la concentración de las partículas en la preparación.*

Suponiendo que la sección de recuento sea un cuadrado de 80 micrones de lado (medido con el micrómetro) y que la profundidad de la célula de recuento sea de 1 mm, y dado que

$$1 \text{ micrón} = \frac{1}{1.000} \text{ mm},$$

el volumen del líquido contenido en una sección de recuento es igual a

$$\frac{80}{1.000} \times \frac{80}{1.000} \times 1 = \frac{6.400}{1.000.000} \text{ mm}^3$$

y el volumen del líquido contenido en las cinco secciones de recuento es igual a

$$\frac{6.400}{1.000.000} \times 5 = \frac{4}{125} \text{ mm}^3.$$

Dado que

$$1 \text{ cm}^3 = 1.000 \text{ mm}^3,$$

el coeficiente de multiplicación es de

$$\frac{1.000 \times 125}{4} = 31.250,$$

es decir, que el número total de las partículas contadas en las cinco secciones multiplicado por 31.250 nos dará el número de partículas por centímetro cúbico de la preparación que contiene la célula.

No obstante, como la exactitud de este método no es muy grande, la concentración de las partículas se suele expresar en millones de partículas por centímetro cúbico, indicando solamente la primera cifra decimal. Para la muestra diluída contenida en la célula del ejemplo esta cifra se obtiene dividiendo el número total de partículas contadas en las cinco secciones por

$$1.000.000 : 31.250 = 32.$$

Este número 32 que da el resultado en millones de partículas por centímetro cúbico sólo se puede utilizar con un retículo cuya cuadrícula delimite secciones de recuento de 80 micrones de lado (esto es, con cuadrados de 40 micrones de lado) y con una célula de 1 mm de profundidad. El factor que corresponde utilizar en cada caso particular se debe determinar midiendo primeramente el tamaño aparente de los cuadrados del retículo.

b) *Cálculo de la concentración de las partículas en la muestra (correcciones para tener en cuenta la dilución).*

i) Adición de ácido clorhídrico únicamente:

Para tener en cuenta la adición del 5 por ciento de ácido clorhídrico y determinar el número de partículas por centímetro cúbico que existen en la muestra se multiplican los resultados anteriormente obtenidos por $\frac{100}{95}$. Si el número de partículas contadas en las cinco secciones es de 112 tendremos que:

$$\frac{112}{32} \times \frac{100}{95} = 3,7 \text{ millones de partículas por centímetro cúbico de la muestra original.}$$

ii) Adición de ácido clorhídrico y de agua:

La adición del ácido clorhídrico no se tiene en cuenta separadamente, ya que se hace la corrección al mismo tiempo para el ácido y para el agua. El número de partículas por centímetro cúbico de la muestra original se obtiene multiplicando el número de partículas por centímetro cúbico de la preparación por el número de veces que ha sido diluída la muestra. Por ejemplo: suponiendo que el número de partículas contadas en las cinco secciones haya sido de 112, como en el caso anterior, y que la muestra haya sido diluída al 1/10, el resultado sería:

$$\frac{112}{32} \times 10 = 35 \text{ millones de partículas por centímetro cúbico de la muestra original.}$$

Determinación del tamaño de las partículas

La determinación microscópica del tamaño de las partículas con iluminación sobre fondo oscuro no da resultados satisfactorios y no se recomienda el procedimiento.

Limpieza de las células de recuento

Después de usadas, las células de recuento se deben enjuagar con agua corriente y se las debe secar con un lienzo fino. Luego se debe limpiar el interior cuidadosamente con un pedazo de lienzo seco de la mejor calidad. Para quitar la pelusa, etc., especialmente en los rincones de la célula, se puede utilizar un pincel de pelo de camello. Luego se debe colocar la célula en un recipiente de cristal cubierto, guardándola así hasta que se la vuelva a necesitar.

ANEXO 2

ENSAYO DE LOS MARTILLOS PERFORADORES Y DE LAS MÁQUINAS PERFORADORAS

En 1955, una reunión de expertos de la O.I.T. recomendó que en las máquinas e instrumentos que al funcionar producen polvo o lo dispersan se incorporaran, ya en el momento de su construcción, dispositivos para la prevención o la supresión del polvo, y que estos dispositivos fueran sometidos a ensayos para verificar su estado y su eficacia por organismos competentes. En efecto, el ensayo de las máquinas e instrumentos que al funcionar producen polvo es de suma importancia. En algunos países únicamente se utilizan los que han sido sometidos a estos ensayos. En este anexo se exponen las disposiciones adoptadas en los Estados Unidos, en el Reino Unido y en la República Sudafricana para el ensayo de los martillos perforadores y de las máquinas perforadoras.

ESTADOS UNIDOS

El Departamento de Minas de los Estados Unidos, que hace una gran labor de ensayos, ha establecido normas para el ensayo y la aprobación del equipo mecánico de perforación y del material auxiliar, y especialmente de los dispositivos de captación del polvo que se produce en las operaciones de perforación¹. A continuación se expondrán los procedimientos aprobados para el ensayo de esta clase de dispositivos.

Los ensayos de los dispositivos de captación del polvo para martillos perforadores se efectúan para la perforación ascendente con una perforadora para barrenos verticales con pistón de 73 mm de diámetro, para la perforación descendente con un martillo de profundización

¹ C. W. OWINGS, F. G. ANDERSON, J. P. HARMON, L. JOHNSON y L. B. BERGER: *Drill-Dust Collectors Approved by the Bureau of Mines as of January 31, 1956*, Information Circular 7741 (Washington, United States Department of the Interior, Bureau of Mines, marzo de 1956).

pesado con pistón de 64 mm de diámetro y para la perforación horizontal también con un martillo de profundización, pero montado sobre un soporte. Para la perforación de orificios en el techo se utilizan brocas de barrena en forma de cruz, con plaquetas de metal duro, de 32 mm de diámetro, y para la perforación de orificios horizontales y de orificios descendentes el mismo tipo de brocas de 45 mm de diámetro. Se emplean barrenas hexagonales y huecas de 22 mm. Los martillos perforadores funcionan con aire comprimido a una presión de entre 6 y 6,7 atmósferas, aproximadamente, y si es necesario limpiar el orificio se puede hacer pasar el aire comprimido por el canal de la barrena.

Los ensayos de los dispositivos de captación del polvo para máquinas perforadoras se efectúan para la perforación ascendente con una perforadora eléctrica montada sobre un carro y provista de un dispositivo de avance hidráulico, y para la perforación horizontal con una perforadora eléctrica montada sobre un pilar. La perforadora utilizada en el primer caso tiene una velocidad de avance de algo más de 5 m/min, una potencia de alrededor de 14 m/kg a 900 revoluciones por minuto y un empuje de cerca de 3.200 kg, y está movida por un motor eléctrico de 10 CV. La perforadora utilizada en el segundo caso tiene una velocidad de avance nominal de 0,75 m/min y está movida por un motor eléctrico de 2,25 CV. Para la perforación ascendente se utilizan brocas de punta de metal duro de un diámetro exterior de 35 mm y barrenas helicoidales de 32 mm de diámetro; para la perforación horizontal se utilizan brocas de punta de metal duro de dos alas con un diámetro exterior de 51 mm y barrenas helicoidales de 44 mm.

Los ensayos

Los ensayos se efectúan en la mina de carbón experimental del Departamento de Minas, que está en Bruceton (Pensilvania), o en otros lugares que determina dicho Departamento. Antes de empezar los ensayos se limpian los receptáculos colectores de polvo y los filtros y se ponen los dispositivos en perfectas condiciones de funcionamiento. El lugar donde se realizan los ensayos está aislado del resto de la mina mediante tabiques de tela. Antes de comenzar las pruebas se riegan las superficies de la cámara de ensayos. En esta cámara no debe circular el aire, excepción hecha de los desplazamientos de aire provocados por los movimientos del personal y por el funcionamiento de las máquinas que se ensayan. En cada posición y con cada tipo de máquina se perforan diez orificios, salvo cuando la perforación se realiza a través de

perfiles de acero, caso en el cual se perforan cinco orificios verticales, hacia arriba o hacia abajo, y otros cinco orificios oblicuos. Los perfiles de acero son perfiles en U de 10 cm de ancho, secciones de traviesas de acero u otros perfiles laminados, que se eligen tratando de que las condiciones en que se efectúan los ensayos sean lo más parecidas posible a las condiciones en que se trabaja en las minas de carbón. A todos los orificios se les da una profundidad de 1,20 m, \pm 8 cm, y se los perfora a la distancia necesaria para que no se crucen unos con otros, obturándose los generalmente luego para evitar que los ensayos siguientes sean falseados por el polvo procedente de orificios anteriormente perforados. Los orificios « verticales » no deben formar un ángulo de más de 10 grados con la vertical; los orificios « oblicuos » deben formar un ángulo de entre 30 y 45 grados con la vertical; los orificios « horizontales » no deben formar un ángulo de más de 15 grados con la horizontal (orificios perforados en pizarra frágil que recubre una capa de carbón a una altura de 1,80 m del piso, aproximadamente).

Evaluación de los resultados

Para determinar la concentración de polvo en suspensión en el aire se recogen muestras con un midget-impinger, en la zona de respiración de la persona que maneja la perforadora, mientras se está perforando cada uno de los orificios. La toma de muestras prosigue desde que se empieza a perforar el orificio hasta que se termina, interrumpiéndose únicamente cuando se cambia la barrena. El recuento de las partículas de polvo se efectúa por el procedimiento establecido por el Departamento de Minas (recuento microscópico con iluminación sobre fondo claro). Inmediatamente antes de empezar la perforación se recoge una muestra de referencia, y el número de partículas contadas en esta muestra se deduce luego del número de las contadas en cada una de las muestras tomadas después. La concentración media neta de las partículas, determinada con arreglo a las muestras tomadas durante los ensayos, se calcula sobre la base de los resultados del 80 por ciento, por lo menos, de las muestras recogidas durante cada uno de los ensayos (perforación de diez orificios en condiciones predeterminadas).

Los dispositivos de captación ensayados sólo se aprueban si la concentración neta del polvo no retenido por el dispositivo y que ha pasado al aire no excede de 350 partículas (aproximadamente) de hasta 10 micrones por centímetro cúbico.

Aprobación de los dispositivos de captación

Los resultados de los ensayos se estudian detenidamente y se verifica la exactitud de los diseños y de las características técnicas suministrados por el fabricante, comparándolos con los aparatos. Si el dispositivo no llena alguna de las condiciones establecidas para la aprobación se le notifica al fabricante que la ha solicitado, explicándole detalladamente los defectos para que pueda corregirlos. Si el dispositivo llena todas las condiciones necesarias se le notifica al fabricante por escrito y se le envía al mismo tiempo la fotografía de un modelo de placa de aprobación. En esta placa se indican el tipo de perforadora con que se puede utilizar el dispositivo y la dirección de perforación para la cual está aprobado; también se indica cómo se montan los elementos del dispositivo de captación. Quienes utilizan aparatos aprobados deberían leer atentamente las placas para saber cuáles son las condiciones de utilización para las cuales se ha dado la aprobación.

Conservación de los dispositivos de captación

En la placa de aprobación se indica que el correspondiente dispositivo puede mantener el aire libre de concentraciones nocivas de polvo, siempre y cuando se lo utilice como es debido y se lo mantenga en las condiciones en que estaba cuando se lo ensayó. El Departamento de Minas determina con sumo cuidado la eficacia de cada aparato, pero si se los modifica de una u otra manera, si se los utiliza en forma no autorizada o en condiciones que no son las indicadas en la placa de aprobación o si no se los mantiene en buenas condiciones siguiendo para ello las indicaciones suministradas por el fabricante con cada aparato se puede reducir su eficacia, y los trabajadores pueden verse expuestos a concentraciones de polvo peligrosas.

REINO UNIDO

En el Reino Unido¹ los ensayos se efectúan, en condiciones rigurosamente determinadas, en la mina de plomo de Greenside (Westmorland), en la galería experimental del Ministerio de la Energía. La roca de la

¹ J. T. BURDEKIN y G. BROOMHEAD: *The Testing of Pneumatic Percussive Drilling Machines for Dust Production*, Research Report No. 25 (Sheffield, Safety in Mines Research Establishment, 1951).

galería es un pórfido de feldespato duro de textura muy uniforme. Los ensayos de las máquinas perforadoras se efectúan en una roca más blanda, como el gres.

La galería tiene 2 m de ancho y 2 m de altura, aproximadamente, y está abierta en la roca formando ángulo recto con la galería principal de la mina, a unos 1.600 m hacia el interior. A unos 6 m del frente la galería está cerrada por un tabique de madera recubierto de tela y fijado al techo, a las paredes y al piso de manera que forma una cámara de ensayo de algo menos de 35 m³. La ventilación secundaria proviene de un turboventilador que lanza a la cámara el aire de la galería principal por un conducto de metal y de lona de 30 cm de diámetro. El volumen de aire es regulable, pero generalmente es de 0,1 m³/s por metro cuadrado de sección del frente. El tabique tiene una puerta que normalmente está cerrada y una abertura de alrededor de 0,1 m² por donde escapa el aire. Las muestras de aire se suelen tomar en esta abertura.

La galería tiene también una línea de suministro de energía eléctrica e instalaciones de aire comprimido filtrado y de agua filtrada. La tubería de aire comprimido para las perforadoras está provista de un filtro para eliminar el polvo y de deshidratadores para eliminar la humedad. La presión normal del aire es de 6,7 atmósferas, reducida a 5,3 atmósferas en la perforadora. El agua ya filtrada llega a un gran depósito mantenido bajo presión por medio de una conexión con la tubería de aire comprimido, depósito que tiene también un filtro en la boca de salida. Por regla general, la presión del agua se regula en 3,2 kg/cm², aproximadamente, pero se la puede elevar hasta 6,7 kg/cm².

En una pequeña cámara abierta en la roca a un lado de la galería, fuera de la cámara de ensayo, están instalados los manómetros, los medidores de la presión hidráulica, los contadores del agua y las válvulas de control.

Preparación de los ensayos

La cantidad de partículas de polvo que contiene el aire comprimido que llega a la cámara de ensayo se determina tomando muestras con un precipitador térmico o con un conímetro, y la que contiene el agua suministrada a la cámara, por examen con microscopio de una muestra del agua. Esta determinación se hace para verificar si los dispositivos de filtración funcionan bien.

Se monta la máquina que se va a ensayar sobre el correspondiente soporte y se la conecta con las redes de suministro de aire comprimido y de agua. (El soporte consiste en una armazón de columnas que tiene

una barra transversal a la cual está fijada una corredera atornillada a mano sobre la cual se monta la máquina.)

Se da entrada al agua, y en el frente de la galería, en los puntos indicados por el técnico encargado de los ensayos, se inicia la perforación de una serie de orificios, dándoles 10 cm de profundidad, aproximadamente.

El ataque de los orificios, es decir, su iniciación, produce una cantidad mayor de polvo que un avance equivalente en la subsiguiente perforación; además, la cantidad de polvo producido en el ataque puede depender de factores accidentales, como la configuración de la superficie de la roca, la facilidad o la dificultad con que se logre iniciar la perforación y el tiempo que transcurre hasta que el orificio tiene suficiente profundidad para que el agua inyectada no se escape, sino que se mezcle bien con el polvo que se está formando. Por estas razones el ataque de los orificios se lleva a cabo con anterioridad a los ensayos propiamente dichos, con objeto de reducir los efectos de esta clase de factores. En las normales condiciones de perforación, además del agua que se inyecta en el orificio, se debería lanzar agua pulverizada sobre el frente mientras se lo inicia.

Para purificar la atmósfera y humedecer el polvo que se ha producido al iniciar el orificio se riegan copiosamente con agua el techo, el suelo y las paredes de la galería en las proximidades del frente y se hace funcionar el ventilador hasta que el aire de la cámara quede limpio.

Se cierra la puerta del tabique de madera, se tapan las rendijas de los bordes por donde puedan producirse escapes de aire y se regula la ventilación auxiliar para dar el volumen de aire fijado ($0,1 \text{ m}^3/\text{s}$, aproximadamente, por metro cuadrado de sección del frente).

Cerca de la abertura del tabique se coloca un precipitador térmico para recoger muestras del polvo producido por la perforadora que ha pasado al aire (véase la lámina XII).

Los ensayos

Se coloca la máquina en la posición adecuada para seguir perforando uno de los orificios previamente preparado y se regulan el suministro de aire comprimido y el de agua para que la presión del aire sea de $5,25 \pm 0,35$ atmósferas y la presión del agua de $3,15 \pm 0,35 \text{ kg/cm}^2$. Tan pronto como el agua empieza a correr libremente de la boca del orificio, un trabajador calificado, en muchos casos enviado por el fabricante de la máquina, inicia la perforación, la cual se continúa hasta que se ha obtenido una muestra de densidad suficiente por medio

de un precipitador térmico. Para los ensayos oficiales se deben perforar ocho orificios de 1,20 m de profundidad, tomándose muestras sin interrupción durante todo el período de perforación.

Evaluación de los resultados

Cuando termina el ensayo, las placas de vidrio sobre las cuales se han recogido las muestras se envían al laboratorio de control del Ministerio de la Energía, a Sheffield, donde primeramente se las calienta durante 15 minutos a una temperatura de 500° C, para eliminar todas las partículas extrañas, como las de aceite y agua o las que contienen carbono, y luego, cuando ya están frías, se las monta sobre portaobjetos de microscopio de 7,5 cm × 2,5 cm. Después se hace el recuento de las partículas de entre 0,5 y 5 micrones de diámetro equivalente, utilizando para ello un microscopio con objetivo de inmersión de 2 mm de distancia focal, ocular con un aumento de 10 veces, condensador de abertura numérica 1,0 e iluminación sobre fondo claro.

Límite fijado

Se considera que la perforadora puede ser aprobada si el número de partículas de polvo halladas en las muestras es inferior a 450 por centímetro cúbico de aire.

Igual que los demás límites de la concentración de polvo, esta cifra es arbitraria, ya que no se dispone de datos científicos concretos que permitan determinar el límite de seguridad. Este límite está basado en la experiencia adquirida, sobre todo en Sudáfrica, respecto de lo que se puede lograr con buenos procedimientos de explotación.

REPÚBLICA SUDAFRICANA

En la República Sudafricana¹, la cámara de ensayos está situada en una antigua galería de avance de 3 m × 3 m abierta en roca virgen de composición prácticamente uniforme a todo lo largo de la galería, y se llega fácilmente a ella por un pozo cercano.

¹ D. G. BEADLE: «Research on Dust Problems by the Pneumoconiosis Research Unit», *Journal of the Mine Ventilation Society of South Africa* (Johannesburgo), agosto de 1957, págs. 155-166.

La figura 126 es un esquema de la galería. A 18 m del frente se ha cerrado la galería con un tabique de madera que no deja pasar el aire y que tiene una puerta que da entrada a la cámara de ensayos. De la galería principal de entrada de aire de la mina se aspira aire fresco que un ventilador eléctrico lanza a la cámara por un conducto de ventilación de 56 cm de diámetro. A la salida del conducto se filtra el aire con un filtro de franela. La boca de salida del aire está a 1 m del frente de la cámara de ensayos, poco más o menos. El aire barre la cámara y sale de ella por una abertura de 0,4 m², aproximadamente, que hay en el tabique de madera. La cantidad de aire que se lanza a la cámara de ensayos se puede regular por medio de una placa reductora colocada a la entrada del conducto de ventilación (donde se aspira el aire). El volumen de aire se mide con un manómetro de tubo inclinado de aceite de parafina que mide la diferencia de presión, delante y detrás de una placa perforada colocada en el conducto, y que está calibrado de manera que da directamente el volumen de aire. El volumen total de aire que pasa a través de la cámara durante un ensayo se obtiene sumando el volumen de aire lanzado por el sistema de ventilación secundaria y el volumen (previa descompresión) del aire comprimido utilizado para hacer funcionar la perforadora.

La máquina perforadora que se va a ensayar se monta sobre un soporte tubular, y se le da el empuje por medio de un motor de aire comprimido. Los orificios se perforan en las paredes laterales de la cámara de ensayos.

Los conductos de aire comprimido y de agua que alimentan la perforadora tienen válvulas regulables mediante las cuales se mantiene constante la presión deseada (con una diferencia de 0,07 de atmósfera, aproximadamente). La presión efectiva la dan los manómetros. El volumen de aire suministrado a la perforadora se mide con un fluidímetro. En el conducto de aire comprimido hay instalado un compresor secundario que permite obtener altas presiones cuando se las necesita. El aire comprimido que hace funcionar la perforadora es previamente filtrado, y las pruebas que se han hecho han mostrado que su contenido en polvo es insignificante.

Se pueden utilizar dos clases de agua, según las necesidades: agua «limpia», esto es, del sistema de distribución de agua de la mina, y agua «sucia», o sea agua ya utilizada en la mina que se bombea hacia la superficie. La cantidad de partículas en suspensión en esta agua y la de sales disueltas en ella varían, y durante cada ensayo se recoge gota a gota una muestra continua del agua que se está utilizando por medio de un

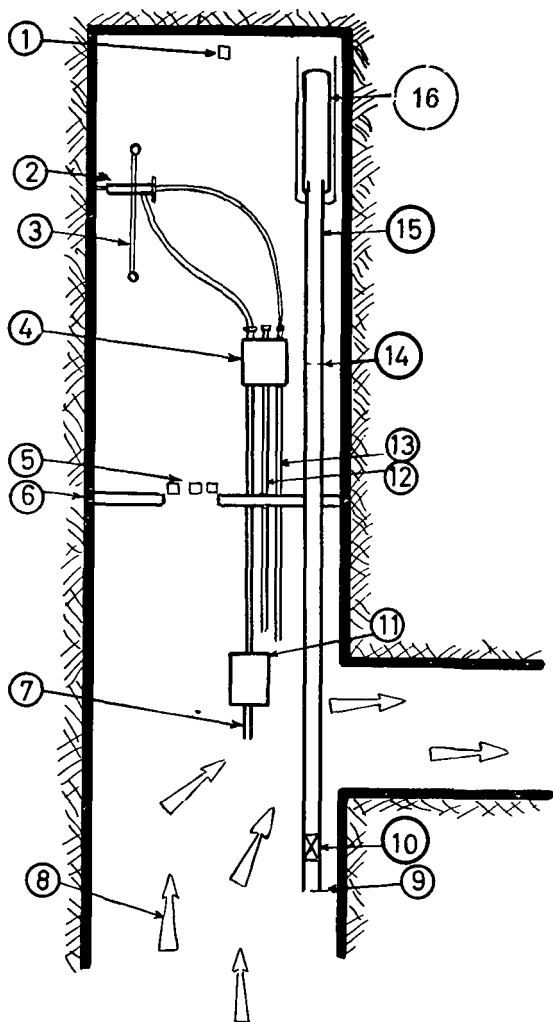


FIG. 126. — Galería experimental de perforación en la República Sudafricana.

1: Precipitador térmico colocado en la entrada de aire. 2: Perforadora. 3: Soporte tubular. 4: Válvulas reguladoras de la presión y manómetros. 5: Posición de los tres precipitadores térmicos. 6: Tabique de ventilación. 7: Conducto de aire comprimido. 8: Corriente de aire fresco. 9: Placa reductora colocada en el conducto de ventilación. 10: Ventilador eléctrico. 11: Compresor elevador. 12: Conducto de agua no depurada. 13: Conducto de agua depurada. 14: Placa perforada. 15: Conducto de ventilación. 16: Filtro de bolsas de franela.

dispositivo especial instalado en el interior del conducto. La cantidad de partículas en suspensión y de sustancias en solución en el agua se puede medir de diferentes maneras.

La cantidad de agua pulverizada por cada perforadora durante un ensayo se determina midiendo la humedad absoluta del aire que sale de la cámara de ensayos inmediatamente antes de iniciar la perforación y de nuevo durante ésta. Multiplicando el aumento de la humedad (masa de agua por unidad de volumen de aire) por el volumen de aire que atraviesa la cámara se obtiene la cantidad efectiva de agua evaporada (masa de agua por unidad de tiempo).

En el frente de la cámara se utiliza un solo precipitador térmico para medir la concentración de polvo existente en el aire de entrada, que siempre es pequeña (unas 20 partículas por centímetro cúbico).

Sobre una repisa instalada en la abertura del tabique que cierra la galería se colocan tres precipitadores térmicos, sobre los cuales pasa el aire que sale de la cámara de ensayos. Por regla general, los tres resultados obtenidos con estos tres precipitadores son muy parecidos, considerándose su promedio como la concentración de polvo en el aire de retorno. De esta cantidad media, que suele ser de entre 200 y 3.000 partículas por centímetro cúbico (antes del tratamiento de las muestras con el ácido), se sustrae la concentración del polvo en el aire de entrada y el resultado se corrige para obtener la concentración de las partículas para un volumen de aire tipo de 1.000 pies cúbicos por minuto (alrededor de $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$). En la práctica se ha comprobado que el volumen de aire más adecuado es de alrededor de 3.000 pies cúbicos por minuto ($1,5 \text{ m}^3/\text{s}$), habiéndose realizado ensayos que han demostrado que se pueden corregir los resultados, para pasar de 3.000 a 1.000 pies cúbicos por minuto, mediante una simple reducción proporcional.

Los ensayos

El polvo que se produce durante la perforación puede provenir de la fragmentación de la roca tanto por la acción de la broca en el fondo del orificio de perforación como por la fricción de la barrena contra las paredes del orificio, y puede también deberse a la atomización y la evaporación del agua utilizada cuando una parte de ella sale a gran velocidad por las aberturas de escape situadas en la parte delantera de la perforadora.

Estas dos clases de polvo se denominarán aquí polvo producido por la barrena y polvo producido por la máquina. Cuando se mide global-

mente la cantidad de polvo de estas dos clases se habla de la producción total de polvo de una perforadora.

Para medir por separado el polvo producido por la barrena y el polvo producido por la máquina se monta en torno a la barrena y sobre el orificio de perforación una capucha de aspiración, y por medio de un eyector se extrae de la cámara el polvo producido por la barrena, cuya concentración no se mide. Seguidamente se determina la cantidad de polvo tomando muestras en el lugar habitual, esto es, en la abertura del tabique, y el resultado da la cantidad de polvo producida por la máquina.

Se quita luego la capucha de aspiración que cubre el orificio de perforación, se encierra la máquina en un cárter que no deje pasar el aire y se extrae de la cámara de ensayos el polvo producido por la máquina. Se vuelven a tomar las muestras como anteriormente, y esta vez los resultados indican la cantidad de polvo producida por la barrena. Claro está que en los dos casos se resta de los resultados obtenidos la concentración del polvo en el aire de entrada.

Los ensayos son presenciados por dos observadores y cuatro o cinco ayudantes. Las verificaciones que se han hecho muestran que la cantidad de polvo producida por los movimientos que hacen estas personas durante su trabajo es insignificante (generalmente de menos de 30 partículas por centímetro cúbico). Cuando todo está preparado, la máquina empieza a perforar un orificio que se ha empezado a abrir con anterioridad y se pone en marcha el precipitador térmico instalado en el frente en la entrada del aire. Dos minutos más tarde se ponen en marcha los precipitadores térmicos instalados en la abertura por donde el aire sale de la cámara de ensayos.

Uno de los observadores vigila la perforación, controla y anota la presión del aire y la del agua y toma el tiempo que tarda la barrena en avanzar 120 cm en la roca, que es de entre 5 y 15 minutos. Para simplificar esta medición se pintan dos rayas sobre la barrena, antes de iniciar el ensayo, a una distancia de 120 cm la una de la otra. Para evitar el posible efecto del desgaste de la broca en la producción de polvo se utiliza para cada orificio una nueva broca de carburo de tungsteno.

El segundo observador se encarga de la toma de muestras del polvo, anota la temperatura (para determinar el grado de humedad absoluta utilizando las adecuadas tablas), vigila la toma de muestras de agua, mide el volumen de aire que recorre la cámara y toma nota de todos los datos que puedan ser de interés.

Cada ensayo consiste en la perforación de un solo orificio. La toma

de muestras del polvo se interrumpe cuando termina la perforación del orificio.

Una vez perforado un orificio se deja correr el aire fresco por la cámara de ensayos durante 10 minutos por lo menos. Tanto los cálculos como los ensayos prácticos han demostrado que este tiempo basta para que desaparezca todo el polvo que se ha producido durante el ensayo.

Si durante un ensayo se advierte alguna irregularidad importante (por ejemplo, si la perforadora no funciona bien), no se lo da por hecho, sino que se repite la operación. En un día normal de trabajo se suele llegar a doce ensayos, aunque cabe la posibilidad de hacer hasta dieciocho.

Evaluación de los resultados

Las placas sobre las cuales se han tomado las muestras de polvo se llevan a la superficie, y en un laboratorio de investigaciones sobre el polvo se las somete a tratamiento y se hace el recuento de las partículas. Se hacen dos recuentos con microscopio; el primero previa incineración de las muestras a 550° C aproximadamente, a fin de eliminar las partículas de carbón y de aceite y las materias orgánicas, que si el aire las contiene se depositan junto con el polvo; el segundo previo tratamiento con ácido clorhídrico caliente al 50 por ciento, a fin de eliminar todas las sales inorgánicas solubles producidas por la evaporación del agua, y tras una segunda incineración.

El microscopio óptico empleado para el recuento tiene un aumento de 1.500 veces y con él se distinguen las partículas de hasta 0,13 de micrón de diámetro, aproximadamente. Todas las partículas vistas con el microscopio son incluidas en el recuento.

Las muestras de agua tomadas durante un ensayo se llevan también a la superficie para su análisis.

Todos los datos recogidos son anotados en formularios especiales de informes y todos los cálculos son verificados por una persona que no ha participado en los ensayos. Los datos se remiten luego a un estadígrafo para que los analice.

ANEXO 3

INSTALACIÓN DE FILTRACIÓN DE LOS HUMOS Y EL POLVO PRODUCIDOS POR LAS VOLADURAS

Los detalles de construcción y el trazado general de una instalación de filtración de los humos y el polvo producidos por las voladuras dependerán de las necesidades de cada caso y del lugar en que haya de funcionar. Pero si bien los detalles de construcción pueden ser diferentes, el esquema que puede verse en la figura 127 se puede considerar característico ¹. En diferentes minas se han tenido en funcionamiento instalaciones de este modelo y han dado buenos resultados.

Como se puede ver en la figura, las cuatro partes principales de la instalación son las siguientes:

- a) un primer filtro para eliminar las partículas gruesas;
- b) una capa de granos de vermiculita impregnados de una solución absorbente, para eliminar los humos;
- c) un ventilador;
- d) un filtro de bolsas de franela para eliminar las partículas finas.

Entre las principales características de construcción y de funcionamiento de la instalación están las siguientes:

1. La instalación debería tener una capacidad suficiente para que todos los humos producidos por la voladura sean arrastrados.
2. La superficie de la capa de granos de vermiculita debería ser calculada sobre la base de 1 m² por cada 15 m³/min de aire.
3. El espesor de la capa de granos de vermiculita debería ser de entre 75 y 100 cm.

¹ S. R. RABSON: « Investigation into the Elimination of Nitrous Fumes », *Mine Ventilation Society of South Africa Monthly Bulletin* (Johannesburgo), agosto de 1955, págs. 155-161.

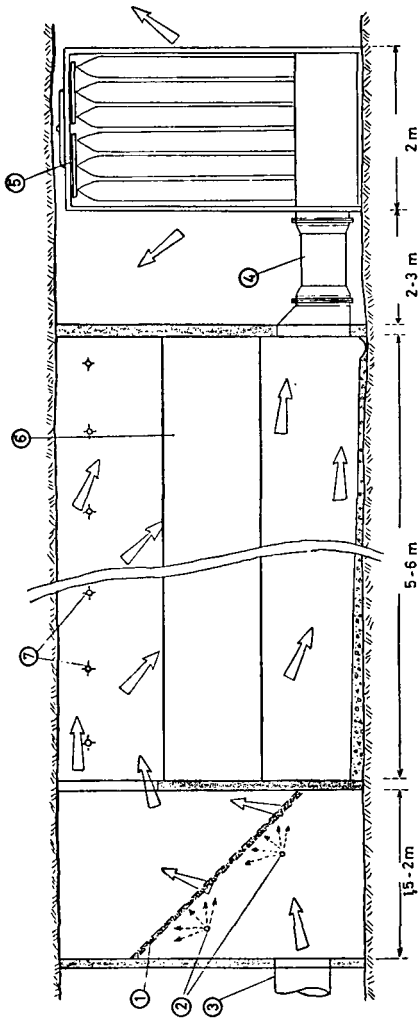


FIG. 127. — Esquema de una instalación para la eliminación de los humos y el polvo producidos por las voladuras.
 1: Primer filtro (tejido de fibra de coco sobre un tamiz de mallas de 2,5 cm. 2: Rociadores. 3: Entrada del aire en la instalación. 4: Ventilador. 5: Filtro vertical de mallas múltiples para polvo. 6: Capa absorbente de vermiculita sobre un tamiz. 7: Rociadores de la solución absorbente.

4. Los granos de vermiculita deberían ser de entre 3 y 13 mm.
5. Se puede calcular que el peso de la capa de granos de vermiculita es de 120 kg/m^3 .
6. Se puede calcular que la resistencia de la capa de granos de vermiculita es de 75 mm de columna de agua para una velocidad del aire de 25 cm/s.
7. El aire debería atravesar la capa de granos de vermiculita de arriba abajo. De este modo la alteración de los productos químicos empezará en la parte superior y se podrá renovar el reactivo rociando la superficie de la capa con una solución fresca. Además, si la corriente de aire es descendente es menos probable que se formen canales en la capa que en el caso contrario.
8. Se deberían instalar ventanas que no dejen penetrar el aire, a través de las cuales se pueda verificar el estado de la capa de vermiculita y rociar la solución absorbente, lo cual se debería hacer con una manguera y una bomba, ya que los rociadores fijos no dan buenos resultados.
9. Se deben rociar 20 litros de solución absorbente por metro cuadrado de superficie de la capa de vermiculita, poco más o menos. Para la primera impregnación se deberían hacer tres rociamientos sucesivos, con un intervalo de un día entre uno y otro.
10. La solución absorbente debería ser una solución de 5 por ciento de cristales de sosa (Na_2CO_3) y 5 por ciento de permanganato de potasio (KMnO_4). Para que la solución esté bien hecha se deben agregar los productos químicos a la cantidad de agua adecuada por lo menos 24 horas antes de hacer el rociamiento, y durante esas 24 horas se debe agitar continuamente la solución introduciendo en ella aire comprimido.
11. En circunstancias normales habrá que repetir el rociamiento todas las semanas.
12. Se debería establecer un circuito de desviación del aire para que éste no atraviese la instalación mientras no se están haciendo voladuras.
13. Por razones de seguridad, la capa de granos de vermiculita debería ser mantenida bajo aspiración, a fin de que no se produzca ningún escape hacia la instalación. En cambio, puede ser conveniente someter a mayor presión el filtro para polvo, esto es, colocar el ventilador entre la capa de vermiculita y el filtro de bolsas de franela.

14. Como primer filtro, para las partículas gruesas, se puede utilizar un tejido de fibra de coco humedecido por rociadores, y de este modo se evitará que la capa de granos de vermiculita se cargue excesivamente de partículas gruesas.

15. Todos los dispositivos de manejo de la instalación se deberían poder hacer funcionar desde un lugar donde el aire sea puro.

16. El aire depurado debería ser diluído en una proporción por lo menos cinco veces mayor de aire fresco.

Nota. — Para construir las partes de la instalación que puedan entrar en contacto con la solución de permanganato no se debería utilizar madera, porque se podría desprender óxido de carbono.

ANEXO 4

MÉTODO PROPUESTO PARA EL RECuento CON MICROSCOPIO DE LAS MUESTRAS DE POLVO RECOGIDAS CON EL PRECIPITADOR TÉRMICO

El recuento de las partículas finas se efectúa con un gran aumento y con iluminación sobre fondo claro. Da buenos resultados un microscopio con las siguientes características:

- a) triple portaobjetivo;
- b) platina de carro sin juego;
- c) subplatina de piñón y cremallera con condensador centrable acromático (abertura numérica: 1,0);
- d) diafragma de iris y placa interceptora en soporte corredizo (6 mm de diámetro) que se puede colocar debajo del condensador para dar iluminación sobre fondo oscuro;
- e) lámpara de 6 V y de 6 a 8 W con filamento recto y reóstato de ajuste;
- f) filtro de vidrio esmerilado y filtro de vidrio verde;
- g) objetivo acromático de 16 mm (abertura numérica: 0,30);
- h) objetivo apocromático de inmersión de 2 mm (abertura numérica: 1,30);
- i) ocular compensador (aumento: 11 veces) con retículo especial;
- j) diafragma ocular de pequeñísima abertura.

El tubo del microscopio está regulado a la longitud corriente de 160 mm. El aumento, con el ocular indicado, es: cuando se utiliza el microscopio con el objetivo de 2 mm, de aproximadamente 1.000 diámetros, y cuando se lo utiliza con el objetivo de 16 mm, de 120 diámetros, aproximadamente.

Para el recuento, las muestras pueden ser examinadas en montajes permanentes o en montajes provisionales. Será necesario que el obser-

vador posea considerable destreza y discernimiento, y antes de tratar de aprender esta técnica debería haber recibido cierta instrucción que lo haya familiarizado con el trabajo general con microscopio.

Procedimiento de recuento

1. Límpiense todas las piezas ópticas del microscopio, y con especial cuidado la superficie superior del condensador.

2. Ajústense el microscopio y la lámpara hasta obtener la máxima luminosidad.

3. Colóquese la preparación sobre la platina del microscopio y sitúese la banda de polvo que constituye la muestra con el objetivo de poca potencia.

4. Enfóquense perfectamente las partículas con el mecanismo de reglaje de precisión y regúlese el condensador de manera que las partículas se destaquen con la máxima nitidez.

5. Ajústese la posición de la preparación sobre la platina de modo que la banda de polvo quede paralela a la dirección en que se mueve verticalmente la platina y hágase girar el ocular hasta que las líneas horizontales del retículo queden paralelas a la dirección en que se mueve horizontalmente la platina.

6. Eljase una sección transversal adecuada de la banda de polvo y llévesela al centro del campo.

7. Pásese del objetivo débil al objetivo fuerte (por inmersión en aceite) y enfóquese la banda de polvo, tras haber colocado el filtro de vidrio esmerilado y el filtro verde.

8. Céntrese y enfóquese el condensador.

9. Regúlese el reóstato hasta obtener una luz clara y uniforme.

10. Por medio de la platina de carro llévese al campo de visión un margen de la banda de polvo y muévasela lentamente a través del campo, manteniendo constantemente enfocadas las partículas. Cuéntense las partículas que pasan en una de las tres bandas del retículo (esto es, sobre un tercio de la altura del retículo) y calcúlense sus dimensiones por comparación con los discos y los círculos numerados grabados en el retículo.

11. Una vez realizado el recuento, límpiense las placas de vidrio sobre las cuales se toman las muestras y colóquese las en una caja de Petri o en un desecador.

12. Al terminarse el trabajo del día límpiense el objetivo con xilol o con cualquier otro disolvente adecuado para eliminar el aceite.

Al hacer el recuento, el observador indica el tamaño de cada partícula a un ayudante, el cual lo registra utilizando para ello una serie de contadores. Puede también prescindirse del ayudante, manejando los contadores el mismo observador con la mano izquierda. En tal caso habrá que instalar un dispositivo automático que mueva la platina o recorrer la banda de polvo por etapas y registrar el número de partículas que aparecen en la sección del retículo mientras la platina está fija, entre uno y otro movimiento de la misma.

En teoría, cuanto mayor sea el número de partículas contadas mayor será la exactitud del resultado. Sin embargo, en la práctica, el número de partículas que se pueden contar en cada banda de polvo es limitado. Si la muestra es demasiado espesa, el amontonamiento de las partículas da lugar a errores y el recuento se hace difícil y penoso. Por el contrario, si la muestra es demasiado rala el resultado puede verse notablemente falseado por las variaciones aleatorias o por contaminación. En la práctica, los resultados más satisfactorios se obtienen con una densidad de unas 100 partículas por banda recorrida al microscopio (de 300 partículas como máximo). Al tomar las muestras se debería tener en cuenta esto. Con la densidad óptima de 100 partículas, en cada placa se debería hacer el recuento dos veces, con un total de partículas contadas de unas 400 (cada muestra se compone de dos placas). Si la densidad es muy inferior a la óptima se debería aumentar el número de recuentos.

Cálculo de la concentración del polvo en suspensión en el aire

1. Determínese la anchura de la banda de recuento delimitada por el retículo (es decir, de la correspondiente a un tercio de la altura del retículo) con la ayuda del micrómetro, anchura que generalmente ha resultado ser, en el caso considerado, de entre 0,0085 y 0,0087 mm.

2. Determínese la longitud de la muestra (la longitud de la banda de polvo obtenida con un precipitador térmico es constante y puede ser medida con el objetivo débil por medio del nonio de la platina), que también en el caso considerado es generalmente de 9,5 mm.

3. Calcúlese el número de partículas en suspensión por centímetro cúbico de aire de la manera siguiente:

Si N = número de partículas por centímetro cúbico;

C = número total de partículas contadas en las dos placas;

n = número de recuentos por placa (recuentos efectuados en una banda correspondiente a un tercio de la altura del retículo);

V = volumen de aire objeto de la muestra expresado en centímetros cúbicos;

0,0085 = anchura de la banda correspondiente a un tercio de la altura del retículo, en milímetros;

9,5 = longitud de la banda de polvo, en milímetros,
tenemos que:

$$N = \frac{C \times 9,5}{V \times n \times 0,0085} = 1,120 \frac{C}{V \times n}.$$

Ejemplo :

Volumen de aire de la muestra: 200 cm³.

Partículas contadas:

placa A: 105, 95, 100;

placa B: 110, 120, 115.

Por lo tanto:

$$C = 645;$$

$$n = 3;$$

$$V = 200.$$

De manera que:

$$N = 1.120 \frac{645}{3 \times 200} = 1.200 \text{ partículas por centímetro cúbico.}$$

ANEXO 5

TIPOS DE FORMULARIOS UTILIZADOS PARA EL REGISTRO DE LOS RESULTADOS DE LA TOMA DE MUESTRAS DEL POLVO EN LAS MINAS DE CARBÓN Y EN LAS MINAS DE METALES

- 1. Formulario utilizado en las minas de metales del Canadá.**
- 2-5. Formularios utilizados en las minas de la Oficina Nacional del Carbón del Reino Unido.**

1. FORMULARIO UTILIZADO EN LAS MINAS DE METALES DEL CANADÁ

| | | | |
|---|---|---|---------------------------------------|
| Mina | Situación | Fecha | |
| Estado: | De los hastiales | De los materiales arrancados | Observaciones |
| Mojado ..... | ..... | ..... | ..... |
| Húmedo ..... | ..... | ..... | ..... |
| Seco ..... | ..... | ..... | ..... |
| Trompa de agua utilizada | Estado | Observaciones ..... | ..... |
| Rociadores de agua utilizados ..... | ..... | En qué medida ..... | ..... |
| Tiempo transcurrido desde la voladura ..... | ..... | Hora de la voladura | CO |
| Atmósfera: Clara | Brumosa | Grisuosa | Fumosa |
| | | | Polvorosa |
| Ventilación: | | | |
| Caudal | Velocidad | Distancia desde el conducto o el ramal | Superficie (m ²) |
| Perforadoras: Núm. | Tipo | Modelo | |
| Barrenas: Cruciforme | De cincel | Fabricante | Núm. de orificios laterales |
| Válvulas de cierre a mano | Iniciación de la perforación observada | Húmeda | Seca |
| Aparatos de carga: Tipo | Núm. de obreros | | |

2. DATOS RELATIVOS A UN FRENTE DE ARRANQUE

| Oficina Nacional del Carbón — División del Sudoeste | | Formulario D.S.1 | |
|--|---|------------------|--|
| Control del polvo | | Zona núm. _____ | |
| Mina _____ | Capa _____ | Fecha _____ | |
| Sección _____ | Tipo de carbón _____ | | |
| Frente _____ | Sección de la capa { _____ _____ | | |
| Longitud _____ yardas | Número de trabajadores en el frente _____ | | |
| Cantidad extraída _____ toneladas/día | Otras causas de polvo _____ | | |
| Método de laboreo { A mano o a máquina _____ Cámaras o transportadores _____ (Táchese lo que convenga) | En el momento del muestreo _____ | | |
| Transportadores del frente _____ | Picos neumáticos: _____ | | |
| » de galería _____ | Húmedos _____ Marca _____ | | |
| (Tipo y núm.) _____ | Secos _____ | | |
| Distancia de carga _____ | Perforadoras percusión húmeda _____ | | |
| Avance diario _____ | » » seca _____ | | |
| Corriente de aire en el frente _____ m ³ /min | » » rotación húmeda _____ | | |
| Temperatura del frente: _____ | » » seca _____ | | |
| Termómetro seco _____ húmedo _____ | Corriente de aire fresco _____ o proveniente de _____ (otros frentes) | | |
| Humedad relativa _____ | | | |

3. RESUMEN DE TODOS LOS FORMULARIOS D.S.1 RELATIVOS A UNA MINA

| Oficina Nacional del Carbón — División del Sudoeste Formulario D.S.2 | | | | | | | | | |
|--|--------|-----------------|--|--------------------------------|--|---|-----------------------------|--------------------------------|---|
| Mina _____ | | Zona núm. _____ | | Subzona _____ | | Fecha _____ a _____ | | | |
| Condiciones reinantes en cada frente con arreglo a los datos registrados en los formularios D.S.1 revisados por _____ | | | | | | | | | |
| Sección | Frente | Descripción | Medidas de su- presión del polvo aplica- das | Núm. de muestras tomadas | Núm. de muestras con menos de 850 p/cm ³ | Núm. de muestras con más de 850 p/cm ³ | Porcen- taje relativo | Condi- ciones del frente | Compa- ración con los resul- tados del mes anterior |
| | | | | | | | | | |
| Observaciones | | | | | | | | | |

 Firmado: _____
 Ingeniero de seguridad de la zona

ÍNDICE ALFABÉTICO

A

- Aerosoles 53
- Afilado de las brocas de barrenas (talleres de) 288
- Agentes humectantes 19, 30-33, 250-251
- Empleo en el riego de galerías 250-251
- Empleo en la roza del carbón 191
- Propiedades que deben reunir 32
- Aglomeraciones de partículas de polvo 53, 336, 338, 370
- Agua:
- Abastecimiento 22-23
- Acidez 23, 25
- Bombas auxiliares 29-30
- Calidad del agua 23
- Cantidad necesaria para la lucha contra el polvo 26-27, 34
- Cartuchos de agua 169
- Condensación natural 43
- Contenido de polvo de las aguas de minas 24-26
- Consumo 26-27, 36-39, 170, 315
- Cortinas de agua atomizada 19, 171
- Limpieza del agua de la mina 23, 25, 40, 429
- Muestras (*Véase* Muestras de agua)
- Presión 27-28, 30, 199, 205-209, 426, 429
- Recuento de las partículas de polvo en las muestras de agua 25-26, 415-421
- Red de distribución de la mina 29
- Suministro para el arranque del carbón 191, 193, 195, 205-206
- Tratamiento del agua de infiltración 24-25
- Utilización:
- Durante el transporte de los productos 232-234, 235
- En las instalaciones de superficie 257
- En las máquinas arrancadoras 194-198
- En las máquinas rozadoras 186-188
- En las operaciones de carga y transporte 117-118, 219-223, 242, 308-309
- En las operaciones de empernado del techo 129-130
- En las operaciones de perforación 133-145, 156-157
- En las operaciones de recorte del techo 129
- En los lugares alejados de los principales de trabajo 92
- En los martillos picadores 183-185
- En toda la mina 34-35
- Vagones cisternas 30
- Vapor de agua 42-43
- Véanse también* Rociadores, Rociamientos
- Airdox o Armstrong (procedimiento) 212-213
- Aire (*Véanse* Conductos de aire, Galerías, Esclusas de aire, Máscaras de respiración, Orificios de escape, Rociadores)
- Altitud (efectos de la) 313-314
- Análisis de las muestras de polvo:
- Espectrográfico 402-403
- Microscópico 402
- Químico 400-401
- Térmico diferencial 403-404
- Véase también* Muestras de polvo
- Arranque del carbón:
- Máquinas para el arranque 180, 193-198
- Pega de barrenos rellenos de agua (*Véase* Barrenos rellenos de agua)
- Producción de polvo en las operaciones de arranque 178-180, 188-190, 195

- Roza con humidificación del material 186-188
- Arrastre (*Véase* Transporte)
- Asbestosis 10
- Asentamiento del polvo 53
- B**
- Barrenas 142-145
- Afilado de las brocas 288-289
- Brocas 142-143
- Barrenos rellenos de agua 164-170
- Aplicación del principio de la infusión 164-167
- Cartuchos de agua 169-170
- Dispositivo de seguridad 167
- Perforación de orificios 165-166
- Véase también* Pega de barrenos
- Aspiradores de polvo:
- Para galerías 248
- Para instalaciones de superficie 272
- Para motores eléctricos 292-293
- Basculadores:
- Aspiración del polvo 82-86, 110, 274-275
- Descarga en las operaciones de relleno 109-111
- Beneficio de minerales (*Véase* Plantas de beneficio de minerales)
- Bombeo (estaciones de):
- Sistemas de ventilación 76
- Brocas (*Véase* Barrenas)
- C**
- Caída del mineral al suelo:
- De las vagonetas 237-238
- De los transportadores 234-236
- Durante su extracción a la superficie 242
- En las galerías 238, 245, 247
- En las instalaciones de superficie 275
- En los pozos 242
- En los túneles 310
- Cámaras y pilares:
- Derrumbe 181
- Infusión de agua 206-207
- Ventilación 70
- Campanas de aspiración 259-264
- Canteras 294-299
- Carga y transporte 298
- Eliminación de las neblinas 296-297
- Fragmentación de la roca 294-295
- Perforación de ranuras en la piedra 294-295
- Talla 296-297
- Transporte 298
- Trituración de la piedra 295-296
- Capas de carbón (producción de polvo en las voladuras de) 163-164
- Caperuzas de aspiración (*Véase* Campanas de aspiración)
- Captación del polvo en las operaciones de perforación en seco 147-151
- Véanse también* Eliminación del polvo, Filtración, Filtros
- Carbón (polvo de):
- Análisis 399-404
- Producción en las operaciones de arranque 178-180
- Cardox (procedimiento) 211-212
- Carga:
- A mano 217, 218-219
- De skips 241-242
- Del cuarzo triturado 298
- En túneles 222-223, 308
- Mecánica 217, 219-223
- Cargadoras (*Véase* Máquinas)
- Cepillos metálicos para transportadores de correa 230
- Cerchar (colector de polvo) 253, 376

- Ciclones (*Véase* Filtros)
 Colectores de polvo (*Véase* Filtros)
 Composición del polvo 334-337
 Concentración del polvo 52-53, 162-163, 334, 380-399
 Coeficiente 396-398
 Índice 398
 Máxima 395-396
 Permisible 14-18
 Procedimientos para evitar concentraciones peligrosas 18-21
 Reducción del grado de concentración por ventilación 52-53, 62
 Condensación del agua:
 Efecto de eliminación del polvo 43
 En los filtros para polvo 95
 Conductos de aire 54, 55, 57-58, 60, 65, 70, 71, 76, 78, 307
 Coniciclo (aparato selector) 357
 Conímetros 338, 347-351, 378, 383-386
 Bergbau-Konimeter 350-351, 384
 Sartorius 350-351
 Zeiss 350, 351
 Witwatersrand 347, 350
 Consolidación del polvo depositado en las galerías 248-255
 « Continuous miner » (*Véase* Máquinas)
 Correas clasificadoras y seleccionadoras 277, 285
 Corte del carbón (*Véase* Arranque del carbón)
 Cortinas de niebla (*Véase* Niebla)
 Cortos circuitos (*Véase* Tabiques de ventilación)
 Cribas 82
 Cribones 275, 284-285
 Cuarzo 237, 402-404
 Carga del cuarzo triturado 298
 Cucharas de arrastre (*Véase* Máquinas)
 Cuiñas hidráulicas para el arranque del carbón 215

CH

- Chemecol (procedimiento) 215
 Chimeneas 82, 217, 223-225, 237, 240-241

D

- Definición del polvo 6
 Depósitos de polvo (*Véase* Asentamiento del polvo)
 Depósitos y tolvas 28-31, 86, 278-279
 Derrumbe 124-128, 181
 Formación de polvo en las operaciones 124-125
 Supresión del polvo en las operaciones 125-128
 Descarga del polvo en las instalaciones de superficie 272
 Detergentes 30
 Véase también Agentes humectantes
 Determinación de la cantidad de las partículas de polvo 13, 368-369
 Dräger (bomba a mano) 354, 388-389

E

- Educación (*Véase* Formación)
 Electricidad (talleres de) 291-293
 Electrostático (muestreo) 359-360
 Eliminación del polvo:
 En las operaciones de perforación 152
 Por aspiración del aire 60

- Por condensación natural del vapor de agua de la atmósfera 43
- Por medio del vapor de agua 42-43
- Empernado del techo 129
- Ensamado del polvo 286
- Instalaciones 298
- Ensayos:
- De las máscaras de respiración 321
- De los filtros 103-106
- De los martillos perforadores y de las máquinas perforadoras 422-433
- Laboratorios de ensayo 286-287
- Esclusas de aire 51
- Espuma (Véase Roza)
- Esquistificación 312-313
- Evaluación del riesgo coniótico (Véase Riesgo coniótico)
- Explosivos (procedimientos que permiten prescindir de los) (Véase Pega de barrenos)
- Explotación por cámaras y pilares (Véase Cámaras y pilares)
- Explotación por tajos largos:
- Suministro de agua 191
- Ventilación 70
- Extracción del mineral a la superficie por medio de skips y jaulas (Véase Skips)

F

- Factor mineral (Véase Concentración del polvo, coeficiente de)
- Filtración:
- Condiciones que deben reunir las instalaciones 86, 316
- Control de las instalaciones 106-107
- De los humos y el polvo producidos por las voladuras 434-437
- Del polvo en suspensión en el aire en basculadores y tolvas 82-86
- En seco 177
- Instrumentos 351-356
- Instrumentos de filtración para recoger muestras 351-356, 386-390
- Cerchar 352-376
- Dräger 354, 388-389
- Füssel 353, 388-389
- Gast 356
- Göthe 352, 387-388
- Hexhlet 355-356
- Le Bouchet 352, 375-376, 389, 398
- P.R.U. 353-354, 377, 389
- Soxhlet 354-355
- Zurlo 353
- Filtros:
- Ciclones 87, 268, 269-272
- Colectores húmedos 87, 268, 269-272
- Colectores mecánicos 86, 87-90
- Colectores térmicos 87-90
- Conservación de los filtros 106-107
- De bolsa 17, 97, 177
- De franela 90-98
- De membrana 351, 388-390
- De serrín 99
- De tambores rotativos 285
- De tela 86, 90-99, 177, 268
- Electrostáticos 99-103, 106, 268, 269
- Enmarcados 97
- Ensayo de los filtros 103-106
- Instalación y conservación de las mangas filtrantes 95-96
- Mangas filtrantes 90-97
- Para el agua (Véase Agua, tratamiento del agua de infiltración)
- Para los humos producidos por las voladuras 177, 316, 434-437
- Para máscaras de respiración 324-325
- Precipitadores electrostáticos 86, 99-103, 358-359
- Precipitadores térmicos 358, 360-365, 390-392
- Purificadores mecánicos 270-272
- Utilización en galerías 71
- Utilización en instalaciones de superficie 99

- Utilización en operaciones de voladura 177
- Forja (talleres de) 289-290
- Formación:
 - De los trabajadores 408-410
 - De operadores de cargadoras mecánicas 220
 - De personal dirigente 407-408
- De personal especializado en la lucha contra el polvo 410-412
- De personal para las operaciones de infusión de agua 209
- De personal temporero u ocasional 409-410
- Fundición (instalaciones de) 285-286
- Füssel (filtro) 353, 388-389

G

- Galerías:
 - Circulación por las galerías 245-247
 - Consolidación del polvo depositado 248-255
 - De avance 54, 58-67, 70, 304, 305-307
 - De entrada del aire 49, 68, 70
 - De retorno del aire 49, 65, 68, 70, 71, 317
 - De transporte 238-243
 - De ventilación 46, 48-51
 - Eliminación del polvo depositado 247-248
 - Limpieza de las galerías de transporte 234-236, 238, 247-248
- Sin salida 54, 58, 70
- Ventilación del fondo 58-68
- Ventilación por aspiración del aire 60-62
- Ventilación por aspiración y lanzamiento de aire simultáneos 60, 65
- Ventilación por lanzamiento de aire 62-64
- Ventilación por lanzamiento y aspiración de aire combinados 65
- Ventilación por vías paralelas 64-65
- Gast (aparato de) 356
- Gast (balanza de) 360, 392-393
- Göthe (filtro) 352, 387-388
- Gullick (cuña hidráulica) 215

H

- Hexhlet (instrumento de toma de muestras y selección granulométrica) 355-356
- Humectabilidad del carbón 190
- Humectantes (agentes) (*Véase* Agentes humectantes)
- Humedad (efectos de la) 314-315
- Humos 60, 62, 65, 68, 76, 78, 160, 161, 162, 177, 306-307, 315-316, 434-437
- Hydrox (procedimiento) 215

I

- Índices del riesgo coniótico 395-399
- Infusión de agua 181, 198-209, 219
- Capacitación del personal 209
- Explotación por cámaras y pilares 200, 206-207
- Explotación por tajos largos 200, 201-206
- Material de ensayo 206
- Obturadores 203-205
- Orificios de inyección 201-203, 207, 209
- Posibilidades de aplicación del procedimiento 200
- Presiones empleadas 199, 205-209
- Suministro de agua 205-206
- Tubos de inyección 203

- Inhalación de polvo 7-8
 Inspección de las máquinas perforadoras 152-158
 Instalaciones:
 De preparación del carbón 256-257, 274-279
 De superficie (*Véase* Superficie, instalaciones de)
 Inyección de agua en la capa de carbón 179
Véase también Infusión de agua
- L**
- Lámparas (depósitos de) 293-294
 Le Bouchet (instrumento de toma de muestras) 352, 375-376, 389, 398
- M**
- Mangas filtrantes 90-97
 Conservación 96
 Instalación 95
 Limpieza automática 90, 94
 Limpieza con aire comprimido 94
 Tratamiento de las telas 97
 Máquinas:
 Arados para carbón 194
 Cargadoras 194-198, 219-223
 Cargadoras de rastras 222
 Cucharas de arrastre 220-221
 De avance continuo 195-198
 « Continuous miner » 198
 Desbastadoras 297
 Excavadoras 222
 De almeja 222
 De cuchara 222
 Martillos picadores 181-185
 Con nebulizadores 185
 Para el arranque del carbón 180, 185, 190
 Efectos de los picos desafilados 180, 188
 Perforadoras 131-158
 Barrenas 142, 145
 Brocas 142-143
 Con inyección central 133-139, 156-157
 Con inyección lateral 139-141, 157
 De canales herméticos 136
 Ensayo 158, 422-433
 Inspección y conservación 152
 Máquinas de perforación en seco 147, 152, 157-158
 Orificios de escape 135, 302
 Perforadoras rotativas 145-147
 Rellenadoras 118-119
 Rozadoras 185-193
 A aire comprimido 190
 Cargadoras 193-194
 De brazos múltiples 194
 De pico 185
 De tambor 194
 De trépano 194
 Humidificadoras 186-188
 Trituradoras 277, 279-282, 286, 293
 Martillos picadores (*Véase* Máquinas)
 Máscaras de respiración 319-332
 Bandas de fijación 324
 Características generales 321-322
 Condiciones que deben reunir las máscaras 320-321
 Conservación 327-328
 Control de los filtros 330-332
 De tubo flexible 325-327
 Ensayo y aprobación 321
 Filtros 324-325
 Limpieza 328-330
 Lugares para guardar las máscaras 330
 Secado 330

- Utilización en las instalaciones de limpieza de las mangas filtrantes 96
- Utilización en las operaciones de carga a mano 218
- Utilización en las operaciones de esquistificación 313
- Utilización en las operaciones de reforzamiento de techos y muros 310
- Válvulas 323-324
- Medición del polvo (*Véase* Muestras de polvo)
- Membrana (filtros de) (*Véase* Filtros)
- Microfotografías 395
- Microproyección 395
- Microscopio:
- Especificaciones 348-349
 - Examen del polvo 335, 382-387, 400, 402
 - Ocular con retículo 385, 391-392
 - Recuento de las partículas de polvo en el agua de las minas 25, 26, 415-421
 - Recuento de las partículas de polvo en las muestras recogidas con el precipitador térmico 438-441
- Midget-impinger 344-345, 382
- Midget-scrubber 345-346, 382
- Motores eléctricos (limpieza de) 291-293
- Muestras de agua 25-26, 415-421
- Muestras de partículas radiactivas 351
- Muestras de polvo:
- Análisis 399-404
 - Comparabilidad de los resultados de los muestreos 338-339
 - Componentes minerales 336-337
 - Componentes no minerales 337
 - Composición del polvo por tamaños de partículas 334-336
 - Composición mineralógica del polvo 336-337
 - Concentración del polvo 334, 380-399
 - Datos buscados 13-14, 333, 368-369, 372-374, 376
 - Estudios especiales 373-374
 - Estudios generales 368
 - Incineración de las muestras 386, 395, 401, 433
 - Instrumentos de muestreo 340-367
 - Balanza de Gast 360, 392-393
 - Características de algunos instrumentos 366-367
 - Clasificación 340
 - Coniciclo 357
 - Conímetros 347-351, 383-386
 - Instrumentos basados en el principio de la colisión 343-346, 382-386
 - Instrumentos basados en el principio de la sedimentación 341-342
 - Instrumentos de funcionamiento continuo 356-358, 371
 - Instrumentos de tubos ranurados 341-342, 358
 - Instrumentos filtrantes 351-356, 386-390
 - Instrumentos ópticos 342-343, 381-382
 - Instrumentos para la investigación 365
 - Precipitadores electrostáticos 358-360
 - Precipitadores térmicos 358, 360-365, 390-392
 - Simgard 357-358
 - Lugares de toma de muestras 371-372, 374-375, 377-378, 379-380
 - Métodos seguidos en varios países 374-380
 - Muestreos corrientes 369-373
 - Personal especializado (formación de) 410-412
 - Principios fundamentales 339-340, 369-370
 - Registros 404-405
 - Resultados de las mediciones (factores que influyen en los) 337-339
 - Tamaños de las partículas 334-336
 - Toma de muestras 340-380

N

- Naturaleza del polvo 5-7
 Neumoconiosis 7-13
 Antracosilicosis 10
 Asbestosis 10
 Causas de las neumoconiosis 9-10
 Incidencia de las neumoconiosis 11-13
 Siderosis 10
 Silicosis 9, 336-337
 Titaniosis 10
 Niebla (cortinas de) 19, 171

O

- Orificios de escape para el aire comprimido en los martillos perforadores
 135, 302

P

- Partículas de polvo:
 Aglomeraciones 53, 336, 338, 370
 Determinación de las dimensiones 334-336
 Partículas peligrosas 9-11
 Penetración en los pulmones 7-8, 335
 Propiedades 7, 335-336, 341
 Recuento (*Véase* Microscopio)
 Sedimentación 335, 341-342
 Tamaños 6, 8, 9, 334-336
 Pega de barrenos 159-177, 303-304
 Cartuchos de agua 169-170
 Eliminación del polvo producido 177, 315-316
 En capas de carbón 163-164
 En roca 161
 Humos 60, 62, 65, 68, 76, 78, 160, 161, 162, 177, 306-307, 315-316, 434-437
 Para perforar túneles 303-304, 306-307
 Precauciones generales 159-161
 Procedimientos que permiten prescindir de las voladuras 210-216
 Airdox o Armstrong 210, 212-213
 Cardox 210, 211-212
 Cuñas hidráulicas 210, 215
 Chemocol 210, 215
 Hydrox 210, 213
 Producción de polvo 163, 303
 Riesgos que entraña el polvo producido 163, 169
 Voladuras con cortinas de niebla 171
Véase también Barrenos rellenos de agua
 Perforación:
 Barrenas 142-145
 Brocas 142-143
 Captación del polvo 147-152
 Condiciones de funcionamiento de las máquinas de perforación en seco 147-148, 157-158
 Eliminación del polvo producido 152
 En seco 147-149, 303
 En terrenos difíciles 144-145
 Inspección de las máquinas 152
 Perforación con inyección central 133-139, 156-157, 301
 Perforación con inyección de agua 133-141, 144-145, 301, 302-303
 Perforación con inyección lateral 139-141, 157, 301

- Perforación de avance rápido 64, 306-307
- Perforación de túneles 300-311
- Perforación rotativa 145-147
- Producción de polvo 138, 146-147, 303
- Tubos de inyección 134-138, 156
- Perforadoras (*Véase Máquinas*)
- Personal:
- Educación y formación de 209, 220, 406-412
- Especializado en la lucha contra el polvo 410-412
- Especializado en técnicas de infusión de agua 209
- Pilares (*Véase Cámaras y pilares*)
- Planos de las instalaciones de ventilación 79
- Plantas de beneficio de minerales 279-286
- Pozos:
- Captación del polvo durante la extracción del mineral a la superficie 82-86, 240-243
- Ventilación 76-79, 239-243
- Precipitadores (*Véase Filtros*)
- Pre-impinger 346, 383
- Presión atmosférica (efectos de la) 313
- Protección individual (*Véase Máscaras de respiración*)
- P.R.U. (bomba a mano) 353-354, 377, 389
- Puertas de ventilación 55, 65
- Pulmones:
- Efectos del polvo en los 7-11
- Retención del polvo en los 7-8, 335, 337
- Puntos de carga y de transbordo (supresión del polvo) 82, 231-232
- Purificadores de aire (*Véase Filtros*)

R

- Radiactividad 318
- Rayos X (análisis con) 402-403
- Recorte del techo 129-130
- Recuento de las partículas de polvo:
- En las muestras de agua 25, 26, 415-421
- En las muestras recogidas con el precipitador térmico 438-441
- Medición de las concentraciones 380-395
- Reforzamiento de techos y muros 309-310
- Registros 404-405, 442-451
- Reguladores de riego automáticos 41-42
- Relleno 108-124
- A mano 109-110
- Centrífugo 112
- Hidráulico 113
- Materiales de relleno 109, 113, 115-116, 117
- Transporte de los materiales 108, 117-118
- Neumático 114-115, 117
- Por perforación de falsas galerías 113
- Por tuberías 111-112
- Protección de los alrededores de las zonas de relleno 122-124
- Vuelco del material 109, 110-111
- Retorno del aire (galerías de) (*Véase Galerías*)
- Riesgo coniótico 9-14, 65, 333-404
- Determinación del 13-14
- Evaluación del 395-399
- Índices del 395-399
- Rociadores:
- Consumo de agua 36-39, 117
- Criterios de selección 36, 125-128
- De agua y aire 171
- En las chimeneas 223
- En las máquinas para el arranque del carbón 195

- En los puntos de carga y de transbordo
111, 219, 232-234
- Regulación automática 41-42
- Rociamientos:
Características 35, 37, 39
Con agua y aire 171-177
Cortinas de agua atomizada 171-177
En la trituración de la piedra 295-296
Instalaciones de regulación automática 41-42
- Instalaciones mandadas a mano 40-41
Sobre las vagonetas 110, 118, 237
Sobre los basculadores 118, 232-234
Sobre los transportadores 110, 111
Volumen de agua necesario 36-37
- Roza 185-192
Con humidificación del material 186-188
Utilización de la espuma durante las operaciones 191
- Rozadoras (*Véase* Máquinas)

S

- Sacos (llenado de) 286, 298
Sales higroscópicas 19, 249-255
Sedimentación de las partículas de polvo 53, 81, 268, 335, 340, 341-342, 387
Sílice 8-11, 15-17, 313
Silicosis 9, 336-337
Simgard (instrumento de muestreo) 357-358
Skips 82, 218, 241-243, 279
Soldadura (talleres de) 290-291
Soxhlet (filtro) 354-355
Superficie (instalaciones de) 256-299
Basculadores 274-275
Campanas de aspiración 259-264
Captación del polvo 267-272
- Conductos de aspiración 264-267
Correas clasificadoras y seleccionadoras 277, 285
Cribones 275, 284-285
Depósitos y tolvas 278-279, 283
Descarga del polvo 272
Edificios 257-258
Laboratorios de ensayo 286-287
Lámparas (depósitos de) 293-294
Talleres 288-293
Transportadores 278, 282
Trituradoras 277, 279-282, 286, 293
Tubulares (reparación de) 293
Ventilación 258-259
Vestuarios 293-294

T

- Tabiques de ventilación 51, 54, 55, 68, 70, 71, 76, 122-123, 130
Talleres 288-293
Temperatura (efectos de la) 314-315
Tolvas (*Véase* Depósitos y tolvas)
Toma de muestras de polvo (*Véase* Muestras de polvo)
Transportadores 225-236, 278, 280
A sacudidas 110, 111, 221-222
Caída de polvo 227, 234-236
- Desprendimiento y supresión del polvo 225-232
En instalaciones de preparación del carbón 278
En operaciones de relleno 111
En plantas de beneficio de minerales 280, 282
Limpieza 227-231
- Transporte:
De material de relleno 117-118

- De materiales en el fondo 243-244
 De los productos 217-218
 De los trabajadores 246-247
 En la perforación de túneles 308
 En las instalaciones de preparación de las canteras 298
 En las instalaciones de superficie 277-278, 280
- Trituración:
 En instalaciones de preparación del carbón 277
 En instalaciones de superficie 277, 280-282
 En instalaciones subterráneas 128, 316-318
 En laboratorios de ensayo 286-287
 En las canteras 295-296
 En plantas de beneficio de minerales 280-282
- Tuberías de agua 29
- Tuberías de ventilación (*Véase* Conductos de aire)
 Tubos ranurados para la toma de muestras 341-342, 358
 Túneles (perforación de) 300-311
 Carga 222-223, 308
 Concentraciones de polvo 302, 304, 309
 Limpieza 310
 Pega de barrenos 303-304
 Precauciones en las operaciones 301, 310-311
 Suministro de agua 303
 Transporte 237-238, 308-309
 Ventilación 58-67, 304, 305-307
 Conductos de 54, 55, 57-58, 307
 Ventiladores 55-57, 307
Véanse también Galerías de avance, Perforación
- Turbidímetros 26
 Tyndaloscopio 342, 381
- V**
- Vagonetas 236-239
 Vagones cisternas 30
 Vapor de agua para la eliminación del polvo 42-43
- Ventilación
 Altitud (efectos de la) 313-314
 Aspiración del aire 58, 60-62, 70, 71, 78, 82-86, 223, 258, 259-267, 286-292, 305-306
 Aspiración y lanzamiento de aire simultáneos 60, 62, 65
 Basculadores 82
 Conductos de aire 54, 55, 57-58, 60, 62, 65, 70, 71, 76, 78, 307
 Cribas 82
 Chimeneas 240-241
 Distribución del aire 49
 Escapes 46, 51, 57-58, 76
 Frentes de arranque 54, 60, 68-71
 Galerías de avance 54, 57, 58-67, 70, 304, 305-307
- Galerías de entrada del aire 49, 68, 70.
 Galerías de retorno del aire 49, 65, 68, 70, 71, 317
 Galerías de ventilación 46, 48-51
 Instalaciones de superficie 258-267, 278-279
 Lanzamiento de aire 58, 60, 62-64, 76, 78, 305-306
 Lanzamiento y aspiración de aire combinados 65, 76, 78, 307
 Normas de ventilación 44-46, 51
 Perforación de túneles 54, 58-67, 304, 305-307
 Planos y registros 79
 Pozos 82
 Pozos que se están profundizando 76-79
 Presión 48, 95, 96
 Puertas de ventilación 55, 65
 Puntos de carga y de transbordo 82

- Recirculación del aire 46, 54, 62, 70
Reducción por ventilación del grado de concentración del polvo 52-53, 62
Resistencia del sistema de conducción de aire 48, 49-51, 264-265
Sectores de ventilación 49, 68, 70
Tabiques de ventilación 51, 54, 55, 68, 70, 71, 76, 122-123, 130
Tolvas 86
Velocidad del aire 51, 52-53, 55, 78, 258-264
Ventilación ascendente 70, 86.
Ventilación auxiliar 53-58, 68, 71, 80, 307
Ventilación natural 48
Ventilación principal 44-53, 60, 62, 70, 82
Ventiladores 55-57
Auxiliares 49, 55-57, 62, 70
Centrifugos 55-57, 95, 307
De corriente axial 57, 307
De marcha reversible 65
Principales 48, 49
Venturi 65
Vías paralelas 64-65
Vigilancia 45, 51, 79, 411, 412
Volumen de aire 48, 54-55, 57, 65, 76-78, 313-314
Venturi (colector) 270-272
Vertederos 239
Vestuarios 293-294
Vigilancia e inspección:
De la extracción del mineral a la superficie 243
De la ventilación 45, 79, 411, 412
De las máscaras de respiración 332
De las operaciones de infusión de agua 209
En las instalaciones de superficie 298-299
En las operaciones de perforación de túneles 310-311
En las voladuras 159-161
Voladuras (*Véase* Pega de barrenos)

Z

Zurlo (bomba de mercurio) 353
