



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

PROYECTO DE INVESTIGACION DE DERRABES DE CARBON

ANEJO VIII

Informe sobre la inyección de agua y su incidencia en la derrababilidad de los distintos tipos de carbón

Ingenieros de Minas Consultores, S.A.- Proyecto de derrabes de carbón

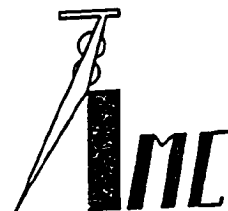


MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

01115

*INFORME SOBRE LA INYECCION DE AGUA Y
SU INCIDENCIA EN LA DEGRABABILIDAD
DE LOS DISTINTOS TIPOS DE CARBON.*

DICIEMBRE 1.990



INGENIEROS DE MINAS CONSULTORES, S. A.

INDICE

	<u>PAG</u>
1 - INTRODUCCION.....	4
2 - FACTORES QUE INFLUYAN EN LA ADMISION DE AGUA POR EL MACIZO DE CARBON.....	6
3 - CURVAS DE INYECTABILIDAD.....	15
4 - TIPOS DE INYECCION DE AGUA EN VENA.....	18
5 - INYECCION A CORTA PROFUNDIDAD.....	20
5.1 INYECCION A CORTA PROFUNDIDAD EN TALLERES MUY FALSOS.....	34
5.2 RECOMENDACIONES PARA EVITAR ACCIDENTES DURANTE LA INYECCION DE AGUA A CORTA PROFUNDIDAD.....	39
6 - INYECCION A LARGA PROFUNDIDAD.....	42
6.1 INYECCION PARALELA AL FRENTE DESDE LAS GALERIAS DE LA CAPA.....	45
6.2 CONSECUENCIAS DEL METODO.....	62
7 - INYECCION A MEDIA PROFUNDIDAD.....	67
7.1 INYECCION PERMANENTE PERPENDICULAR AL FRENTE....	73

	<u>PAG</u>
7.2 CONCLUSIONES SOBRE LA INYECCION A MEDIA PRESION POR EL SISTEMA MULTICANULA.....	83
7.3 INYECCION MULTICANULA COMPLEMENTADO LA INFUSION DE AGUA REALIZADA DESDE LAS GALERIAS DE CABEZA Y BASE.....	86
8 - PRETELE-INFUSION.....	88
9 - INYECCION DE AGUA COMO PREVENCION DE FENOMENOS GASEO- DINAMICOS EN EL AVANCE DE GALERIAS DE CARBON.....	90
10- CONCLUSIONES.....	98

1 - INTRODUCCION

*INFORME SOBRE LA INYECCION DE AGUA
Y SU INCIDENCIA EN LA DERRABABILIDAD
DE LOS DISTINTOS TIPOS DE CARBON.*

1 - INTRODUCCION

Con la inyección de agua en la capa de carbón se persigue inicialmente el objetivo de disminuir la producción de polvo en los frentes al ejecutar el arranque.

Sin embargo y como indicaremos más adelante, la impregnación con agua del macizo de carbón, en muchos casos, puede prevenir los desprendimientos del mismo por lo que resulta interesante estudiar sus diferentes tipos y los parámetros que intervienen, para analizar sus relaciones con la prevención de derrabes de carbón.

2 - FACTORES QUE INFLUYAN EN LA ADMISION DE
AGUA POR EL MACIZO DE CARBON.

2 - FACTORES QUE INFLUYAN EN LA ADMISION DE AGUA POR EL MACIZO DE CARBON

a) En primer lugar y como factor más influyente hemos de señalar la permeabilidad de la vena.

Debemos puntualizar ya el siguiente concepto: un carbón puede ser blando y muy poroso sin llegar a ser suficientemente permeable.

Esta aparente contradicción se indica para recordar que para que un macizo en vena de carbón sea permeable, o sea aceptablemente permeable para su impregnación con agua, es preciso que sus poros se comuniquen entre si, estableciendo una red de circuitos capilares a lo largo y ancho del macizo. Considerando que el macizo llega a ser inyectable cuando la sección mínima de dichos circuitos capilares y continuos es suficiente para permitir la progresión del fluido inyectable bajo una cierta presión.

Según los trabajos realizados por H. LAVALLEE y K. PAUL , se exigen diámetros mínimos de 300 a 400 Å para que la circulación de un fluido pueda tener lugar por la red de circuitos antes citada.

La permeabilidad efectiva (P_{ef}) de un determinado macizo en capa es la suma de varias permeabilidades parciales, estudiadas por estos autores, que analizamos a continuación:

a₁) Permeabilidad natural (P_n):

La permeabilidad natural de un yacimiento supone que éste sea virgen y no esté afectado por otras explotaciones. Aunque depende de numerosos factores, tales como la presión "in situ" del grisú, textura de la capa, naturaleza del carbón, mareas luni-solares etc, puede decirse que esta permeabilidad es función inversa de la profundidad del yacimiento y de la elasticidad de los terrenos suprayacentes.

El valor teórico de la permeabilidad natural puede expresarse por el suministro de agua destilada que se filtra, a la temperatura de los terrenos, a través de un bloque de carbón de dimensiones unitarias convenientes, supuesto colocado "in situ" bajo una presión motriz como máximo igual a la presión del grisú también "in situ".

En la práctica se estableció el índice de permeabilidad natural, i.p.n., en función de la

cantidad de cloruros existentes en el carbón, como consecuencia de haber observado que la cloruración que presentan muchas capas proviene, en general, de su contacto con terrenos marinos, siendo, por tanto, posterior a la formación del carbón y función de la sección total de las redes capilares existentes en el macizo. Como norma práctica, el índice i.p.n. se expresaba por el número de miligramos de cloruros cedidos por una muestra de 50 g. de carbón, calibrado entre 0 y 2 mm., a un volumen de 100 cm³ de agua destilada después de una inmersión de 5 horas.

En algunos casos hay que sustituir el agua destilada por otra desmineralizada ya que la primera puede contener iones de cloruro que enmascaren los resultados finales.

Bajo el punto de vista de la inyección de agua es muy conveniente que el i.p.n. sea lo más elevado posible ya que, en este caso, se facilita la infusión en la región virgen del macizo.

También es importante señalar que el i.p.n. elevado excluye prácticamente la posibilidad de los desprendimientos instantáneos de grisú. Como por otra parte los cloruros son considerados como agentes retardadores de la evaporación del agua, cuanto

mayor sea el i.p.n. más disminuida se verá la acción de dicha evaporación.

a₂) Permeabilidad activada (P_a):

Es el suplemento de permeabilidad debido a la expansión de los terrenos encajantes cuando hay capas ya explotadas al techo del macizo considerado. P_a es función directa del número de aquellas explotaciones, de la potencia de las capas deshu-lladas y de la profundidad del yacimiento.

En las capas poco inclinadas , hemos comprobado que, efectivamente, cuando un macizo está situado al muro de otros talleres ya explotados, las posibilidades de inyección de agua son mayores que en otros casos de la misma permeabilidad natural. Nos demuestra este hecho que ambas permeabilidades se suman favoreciendo la infusión de agua en el macizo.

a₃) Permeabilidad de hinchamiento (P_h):

Como en el caso precedente este tipo de permeabilidad se adiciona a la i.p.n. de la capa.

Si bien en el caso anterior la activación procedía únicamente de las fuerzas exteriores, es decir, de la reducción de cargas soportadas por la capa de carbón, aquí el hinchamiento es debido a la elevación de la presión interna conferida por la presión de infusión.

a₄) Permeabilidad gravitatoria (P_g):

El último factor de permeabilidad es el incremento debido a las modificaciones cíclicas de la permeabilidad de las capas como consecuencia de las fuerzas atractivas exteriores y cíclicas procedentes de los movimientos del sol y especialmente de la luna respecto a la tierra.

La permeabilidad resultante de la acción combinada de los anteriores factores es:

$$P_{ef} = P_n + P_a + P_h + P_g$$

b) Siguiendo con los factores que más influyen en la susceptibilidad de una capa a ser inyectada hemos de fijar especial atención en el método de explotación utilizado en cada caso. Según sea éste, las zonas macro y microfisuradas del macizo se encuen-

tran a diferente distancia del frente de arranque, con lo que varían las posibilidades de inyección de agua cuando esta se realiza desde el propio taller. Para que la infusión sea efectiva desde el punto de vista de eliminación del polvo es necesario que la misma se realice fuera de la zona de grandes fisuras, zona inmediata al frente de arranque, ya que, en caso contrario, el agua retornaría rápidamente al taller sin haber impregnado adecuadamente el macizo.

Cuando el método de explotación utilizado es el de testeros, existen ciertos problemas a la hora de realizar la infusión paralela al frente desde la galería superior. En efecto, debido al desfase existente entre las sucesivas series del taller, el tiro de inyección se ve rápidamente afectado en su parte inferior por zonas de macrofisuras que constituyen caminos de salida del agua hacia el taller.

- c) Como tercer factor de influencia vamos a considerar a continuación la relación que el grisú guarda con la permeabilidad del carbón, y, por tanto, con la inyectabilidad de las capas.

Si bien en la zona microfisurada del macizo el

desprendimiento del grisú se suele producir de forma continua y limitada, no ocurre lo mismo en las zonas macrofisuradas donde suele haber una liberación violenta del grisú, tanto mayor cuanto menor sea la permeabilidad de la capa. Según los estudios realizados por K. PAUL y H. LAVALLEE, parece ser que la permeabilidad natural solamente proporciona migraciones imperceptibles del grisú hacia las zonas más activadas.

En relación con la inyección de agua se comprobó que, para un determinado caudal de infusión, la presión necesaria es tanto menor cuanto más elevada sea la permeabilidad activada, originada por la explotación de capas suprayacente.

- d) En cuanto a la sección mínima de los circuitos capilares, ya hemos señalado antes que para que el grisú pueda circular a través de una capa de carbón permeable es necesario que los diámetros capilares estén comprendidos entre 300 y 400 Å.

La falta de vías adecuadas de salida para el grisú dificulta la inyección de agua hasta el punto de necesitarse presiones superiores a los 100 Kg/cm² para conseguir el punto de equilibrio en la infusión.

Por otra parte, la falta de permeabilidad hace que la perforación de los barrenos de inyección se realice con grandes dificultades, llegándose a inutilizar los barrenos cuando la salida del grisú agranda sus paredes, atascando continuamente el taladro con los detritus producidos. En otras ocasiones, el derrumbamiento del tiro impide la extracción de las barrenas las cuales quedan allí atrapadas.

Cuando la inyección tiene lugar desde la galería de cabeza, en sentido paralelo al frente y baja presión, los efectos del grisú se dejan notar en el sentido de ser necesarias, al principio de la inyección, presiones del orden de los 50 Kg/cm² para introducir el agua y poder equilibrar la presión del grisú "in situ".

- e) Relacionamos como último factor que condiciona los efectos de la inyección el avance medio de los talleres, en cuanto que puede aumentar el tiempo de evaporación del agua.

3 - CURVAS DE INYECTABILIDAD

3 - CURVAS DE INYECTABILIDAD

Como es lógico, las capas de carbón presentan diferente afinidad por el agua de impregnación.

Las posibilidades de inyección se determinan construyendo lo que se denominan "Curvas de inyectabilidad", las cuales relacionan los tres parámetros que intervienen en la operación: presión del agua, caudal de inyección y la profundidad de inyección.

Las curvas calculadas a presión constante dan, para una capa determinada, con un método de explotación dado, el caudal de agua en función de la profundidad de inyección, es decir en función de la posición de la cánula en el taladro. Esta curva es la que se calcula normalmente en la zona macrofisurada del macizo ya que, en este caso, se utiliza a veces la presión constante de la red de agua.

El conocimiento de esta curva es fundamental para conocer el comienzo de la zona microfisurada lo que permite el control de la inyección, sobre todo si el techo y el muro de la capa tratada son fácilmente hidratables.

Las curvas de inyectabilidad con suministro

constante proporcionan la presión mínima de inyección en función de la distancia entre el frente y la extremidad de la cánula.

El conocimiento de esta curva es fundamental para la teleinyección racional en la región microfisurada de la que hablaremos más adelante.

4 - TIPOS DE INYECCION DE AGUA EN VENA

4 - TIPOS DE INYECCION DE AGUA EN VENA

Generalmente se consideran tres tipos de inyección de agua en vena atendiendo a los límites de la profundidad a que se realiza esta:

Inyección a corta profundidad: con longitud de taladro menor de 3 m.

Inyección a media profundidad: con longitud entre 3 y 6 m.

Inyección a larga profundidad: con longitud mayor de 6 m.

Los tres tipos admiten ciertas variantes en su realización y tiene ventajas e inconvenientes para la prevención de la producción de polvo, en todo caso consideramos su acción en general beneficiosa para la prevención de derrabes de carbón, con escasas excepciones muy concretas, por lo que pasamos a describirlos a continuación:

5 - INYECCION A CORTA PROFUNDIDAD

5 - INYECCION A CORTA PROFUNDIDAD

En este tipo de impregnación realizado mediante taladros perpendiculares al frente de unos 3 m., aproximadamente, se suelen introducir grandes caudales, del orden de 10 a 30 l/min. mediante presiones que superan los 130 kg/cm², y a través de una cánula dilatada que impide el retorno del agua por el orificio barrenado. En estas condiciones el agua "rompe" el carbón, saliendo hacia el frente por las grietas formadas, con lo cual, frente a la prevención del polvo, se consigue a veces una impregnación más aparente que eficaz. Mediante mayores longitudes del barreno -del orden de los 5 m- y en las mismas condiciones del caudal y presión que anteriormente, se introducen mayores volúmenes de agua. Sin embargo, en todos estos casos, pueden los hastiales deteriorarse peligrosamente.

Como existen algunas variantes en su realización, que influyen considerablemente en la eficacia de inyección, con el fin de definir las normas para este tipo de inyección, vamos a considerar las variantes más importantes, que son debidas a:

- A - Características del taller.
- B - Parámetros de "I.C.P."
- C - Ejecución del "I.C.P."

A) Características del taller.-

En esta variante debemos considerar:

- 1) *Composición química de los constituyentes minerales del carbón; Estos influyen en la inyectabilidad del carbón especialmente los cloruros, asimismo si la capa está formada por dos o más venas con intercalaciones impermeables, puede una de estas venas no quedar inyectada.*
- 2) *Sistema de explotación; Según el sistema de explotación la zona microfisurada está más o menos distante del frente y como veremos es importante que la inyección se haga en esta zona.*
- 3) *Avance diario del taller; Tiene influencia sobre evaporación de agua inyectada.*
- 4) *Composición de los hastiales; Si son muy flojos puede penetrar el agua en ellos más fácilmente que en la masa de carbón.*
- 5) *Contenido en grisú; Tiene influencia en la eliminación del agua inyectada.*

Las características del taller generalmente están prefijadas; no se puede en consecuencia influir sobre ella a efectos de inyección.

B) *Parámetros de I.C.P.-*

- 1) *Longitud de taladros; Es el parámetro de "I.C.P" de influencia más notable.*

Puesto que la distancia de la zona microfisurada depende del sistema de explotación, relleno, hastiales, etc. La longitud de taladro debe ser tal que, cómo mínimo, la cámara de inyección esté dentro de la zona microfisurada; pues se sabe experimentalmente que la inyección en esta zona microfisurada elimina mayor número de partículas, y estas partículas son ponderantemente de diámetro menor de 5 micras, mientras que con la inyección en la zona macrofisurada las partículas eliminadas son, en su mayoría, de diámetro mayor de micras, con lo que se obtiene, en este caso, una mejora más de tipo ambiental que dé prevención del polvo peligroso para la silicosis.

Con longitud de taladro por encima de 2,5 m en bastantes talleres se llega a la zona microfisurada.

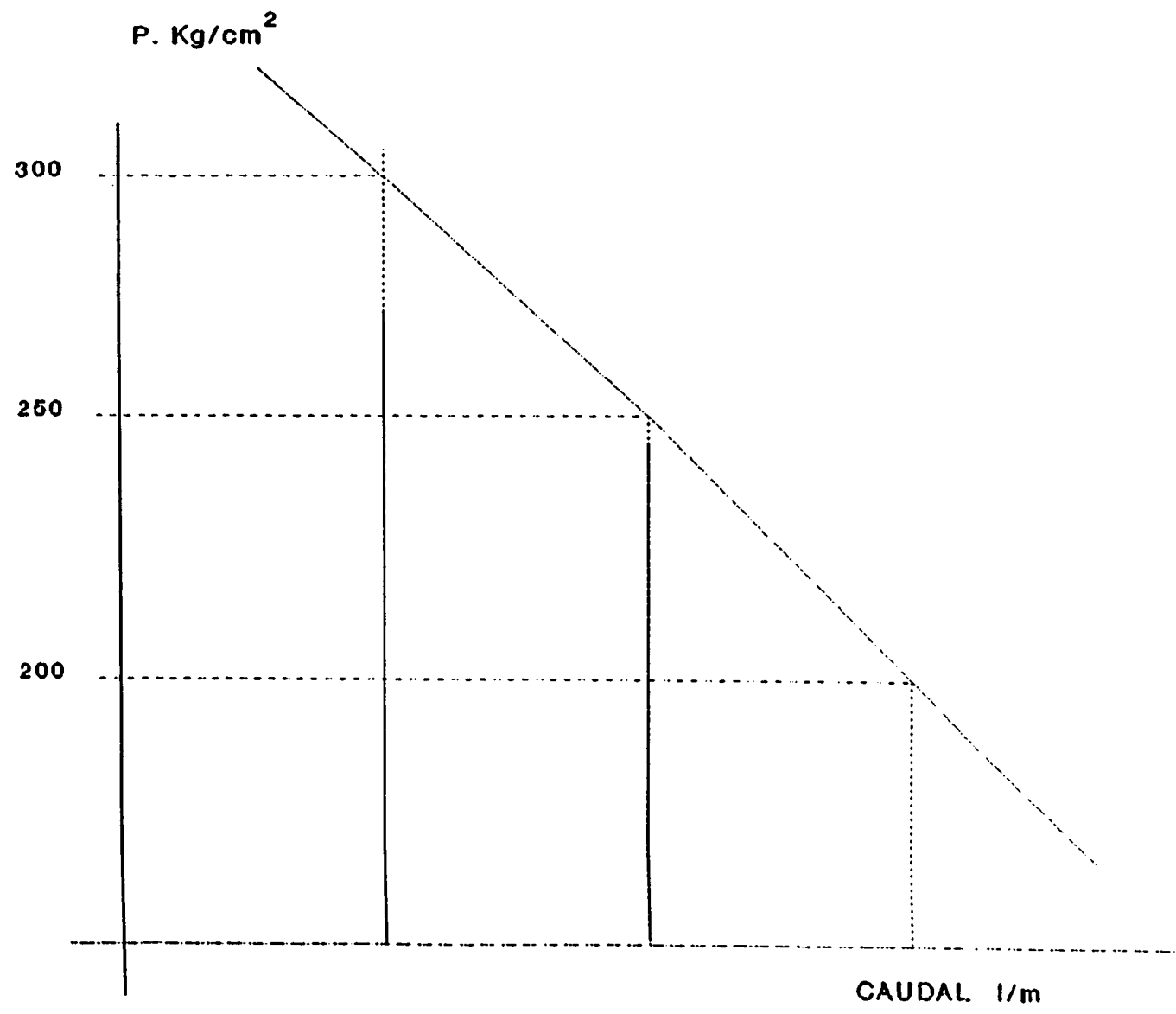


- 2) *Distancia entre taladros; La distancia entre taladros debe ser tal, que para el avance del taller correspondiente a una tarea de inyección no quede zona alguna sin inyectar, aunque en algunas partes se inyecte dos veces.*

El agua, sale a cara libre desde la cámara de inyección, según una superficie límite, que forma ángulos con la horizontal que varían entre 40 y 70° para talleres por tajos. Con un ángulo

de 60° la distancia entre taladros debe ser, $d = l \sqrt{3}$ aproximadamente. Como fácilmente se deduce, para 60° , si l está entre 2,5 y 3 metros, la distancia será : $d =$ aproximadamente 5 metros, quedando inyectado perfectamente 1/2 m. de avance.

- 3) Presión y caudal del agua introducida; Las bombas elevadoras de presión tienen una curva característica de Presión-Caudal de la forma de la figura.



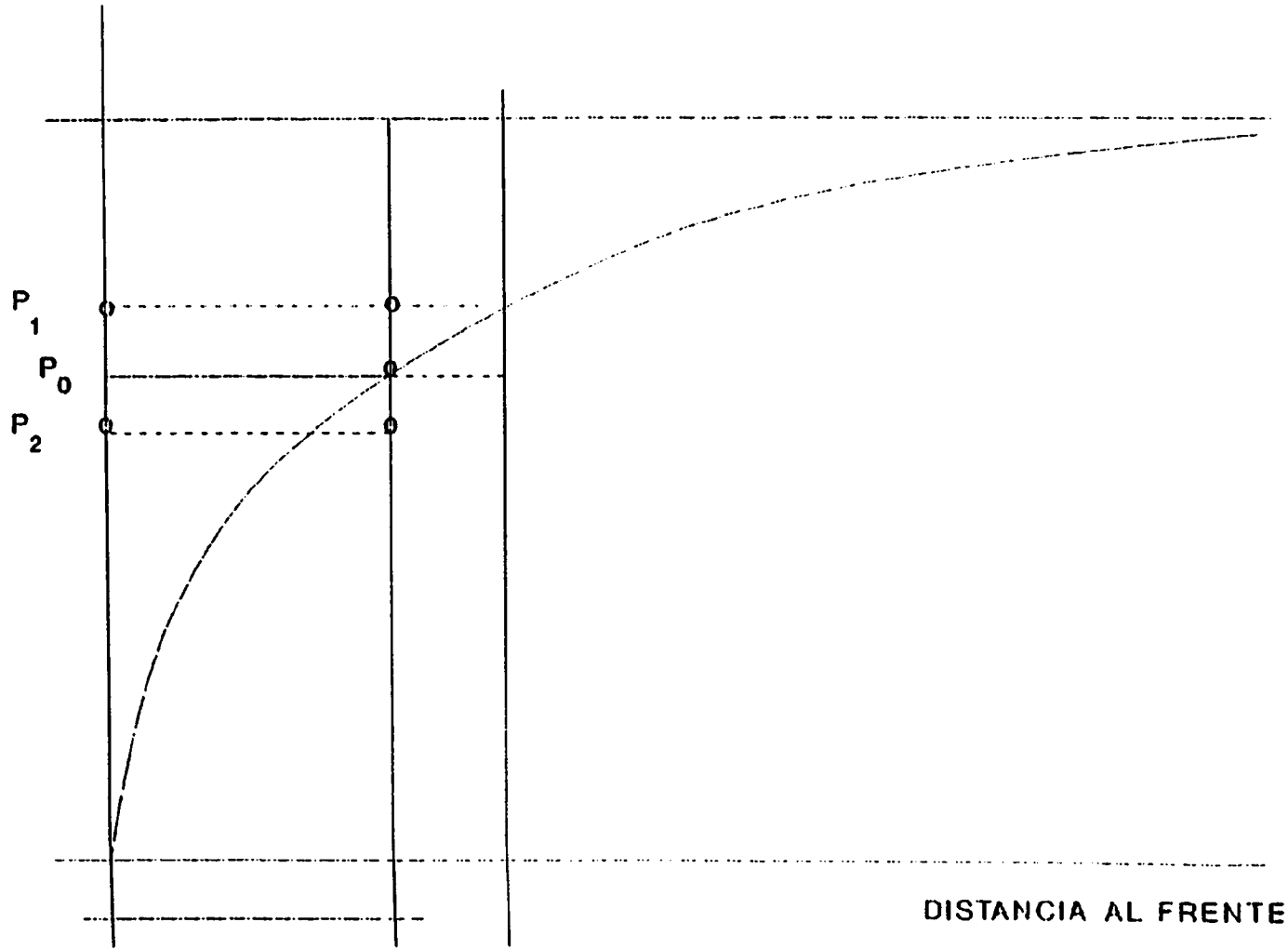
Siendo regulable la presión en las bombas empleadas en nuestras minas. (Para = las Turmag HP-3-30 y HP-3-20. la regulación es continua entre 0 y 300 Kg/cm²).

Para poner de manifiesto la influencia de la presión se representa la conocida curva presión persistente-distancia al frente; esta curva es la curva de equilibrio para una capa determinada.

Para una capa determinada y una longitud de taladro l , la presión de equilibrio es P_0 .

Si la bomba trabaja a una presión $P_1 > P_0$, ésta es mayor que la de equilibrio y por lo tanto hay un arranque de carbón prácticamente sin "mojar"; si la bomba trabaja una presión $P_2 < P_0$, ésta es menor que la presión de equilibrio, no hay arranque dando lugar a "Mojar" la masa de carbón; este "mojado" será tanto mejor cuanto mayor se el tiempo de contacto agua-carbón y menor el caudal (lo que implica una P no baja) lo cual se consigue aumentando l , la longitud del taladro.

PRESION PERSISTENTE



Así pues las bombas deben regularse a la presión adecuada, variable para cada capa, considerando como regla práctica que el caudal de agua oscile entre 10 - 15 l/min. para esto se puede ayudar regulando con el aire comprimido, si la regulación propia de la bomba es insuficiente.

En cuanto al caudal conviene que sea el mínimo, pero viene condicionado a la presión de la bomba y la resistencia que opone la masa de carbón a la impregnación; la inyección mejor, es la que se controla por caudal l/min, no por presión de agua.

- 4) Frecuencia de Inyección; El nº de veces que se debe inyectar en el mes, debe ser el necesario para impregnar el macizo a arrancar, espaciando las inyecciones regularmente en el tiempo; no siendo considerable la evaporación de agua, que es función del tiempo (avance) y superficie libre, es necesaria una regularidad en la frecuencia de la inyección.

Cada tajo debe inyectarse tantos días como resulte del cociente de dividir el doble de avance mensual por la longitud del taladro; si

avanza m metros, el nº de inyecciones es $\approx \frac{2m}{1}$ espaciados regularmente en el tiempo; así para un avance de 20 m y una longitud de taladro de 2,5 habrá que inyectar $\frac{2 \times 20}{2,5} = 16$ veces para obtener el grado máximo de inyección.

5) Tiempo de impregnación; El tiempo de impregnación, viene determinado por las características de la capa y presión y caudal del agua; una buena inyección requiere largo tiempo de contacto agua-carbón; nunca se debe detener la inyección hasta que el agua salga de forma franca por el frente.

6) Disposición de los taladros; la influencia de la disposición de los taladros, radica en fenómenos de capilaridad y adherencia, así como en la situación de posibles intercalaciones de estériles impermeables en la masa de carbón y en la consistencia de los hastiales. También la situación de los taladros viene influenciada por consideraciones de seguridad.

Para un taller por tajos de 5 m el taladro debe situarse a 1,5 m aproximadamente de la niveladura, y si es posible con una ligera

inclinación ascendente (unos 30°) con el fin de llegar más fácilmente a la zona microfisurada.

Para casos de hastiales muy falsos e intercalaciones impermeables se hacen más adelante las recomendaciones adecuadas.

C) Ejecución de la "I.C.P." (Inyección a corta profundidad)

En la ejecución de la I.C.P. debe tenerse en cuenta el estado del material y la instrucción del personal que ha de realizar la inyección.

La bomba debe estar engrasada y sin fugas de ninguna clase ya que daría lugar a presiones no previstas durante la inyección. Las barrenas no deben tener torceduras considerables para no hacer el taladro de diámetro mayor del normal. Asimismo, los tallantes deben estar en perfectas condiciones para que el diámetro sea el previsto; en caso contrario hay que "forrar" la cánula, operación siempre delicada e insegura. La instalación de mangueras de alta presión, con bifurcaciones o trifurcaciones, no debe tener fuga alguna ya que influiría en la presión y caudal de inyección, haciéndolo disminuir notablemente.

El personal debe estar lo suficiente instruido para realizar estas operaciones con orden, debiendo considerar principalmente los siguientes puntos clave:

- a) Engrasar la máquina y revisar la instalación de alimentación (mangueras, grifos, etc.).
- b) Puesta en marcha de la máquina y comprobación de la presión .
- c) Engrase de la perforadora rotativa y revisión de su material (manguera, llave, etc.).
- d) Perforar el taladro en el sitio adecuado (descrito anteriormente).
- e) Introducir siempre una cánula de longitud adecuada, que debe ser la del taladro menos 0,5 - 0,75 m habiendo colocado un descompresor entre el flexible y ésta y abrir la llave de agua.
- f) No cerrar el agua hasta que salga franca por el frente, salvo el caso especial y raro de prever que el agua se introduce en uno de los hastiales , lo cual se nota por ser anormal el tiempo de impregnación, y no sentir "estallar" el carbón al ser inyectado.

Si existe una fisura por donde sale el agua antes de lo previsto, dar otro taladro separado 1-2 m, tapando con un taco de madera de mayor longitud posible el anterior; también se puede taponar un fondo de taladro por donde sale el agua con el taco descrito.

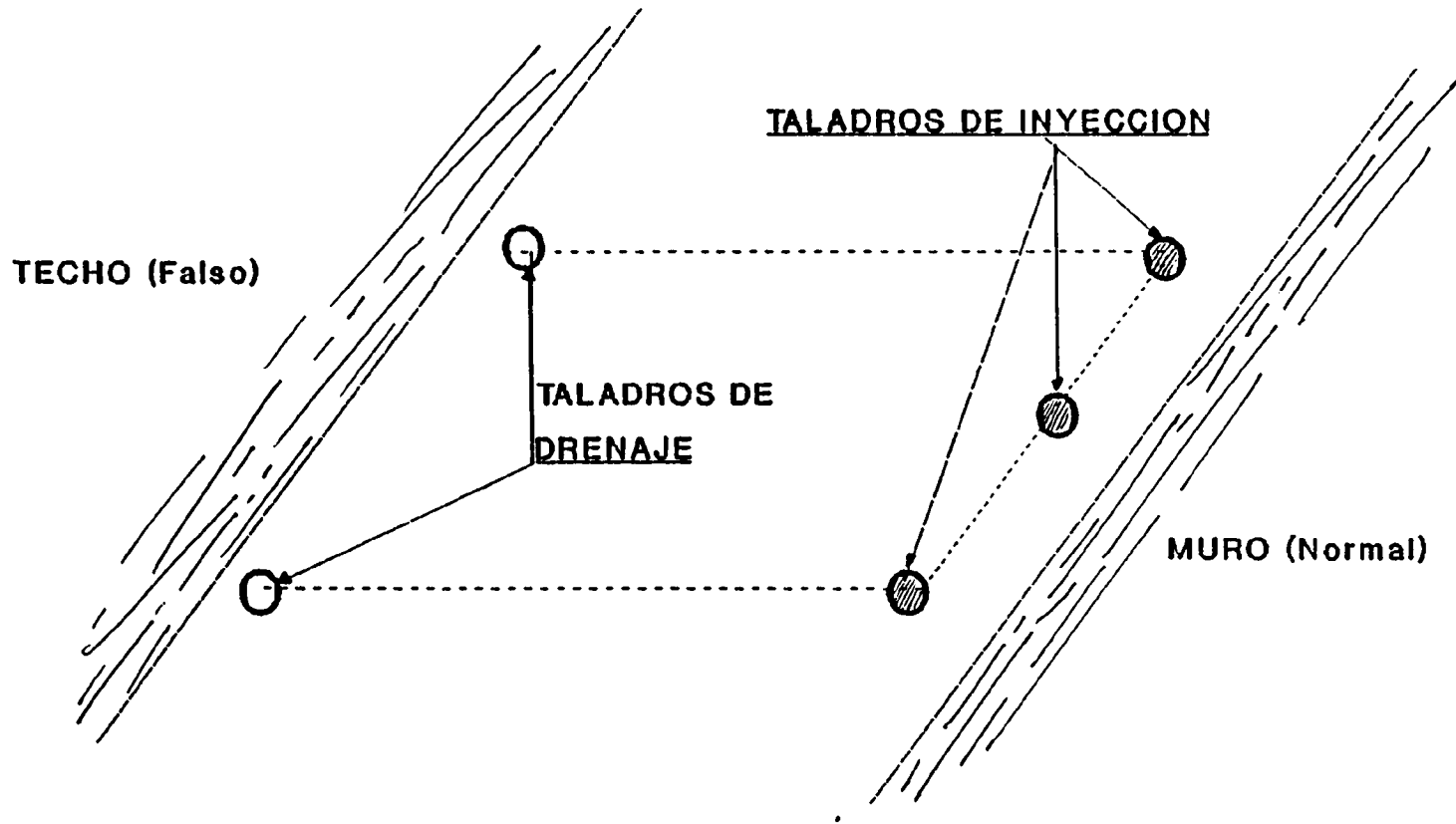
g) Dejar al final el material en sitio adecuado para que no se deteriore con las labores del relevo siguiente, parando la bomba y cerrando el agua.

La inyección a corta profundidad realiza un efecto beneficioso de prevención de los derrabes que se pudieran producir en su corta zona de influencia, sin embargo además de las recomendaciones antes indicadas, y para evitar la alteración de hastiales o los peligros de desprendimientos de carbón durante la inyección deben tenerse en cuenta las siguientes recomendaciones:

5.1 INYECCION A CORTA PROFUNDIDAD EN TALLERES FALSOS

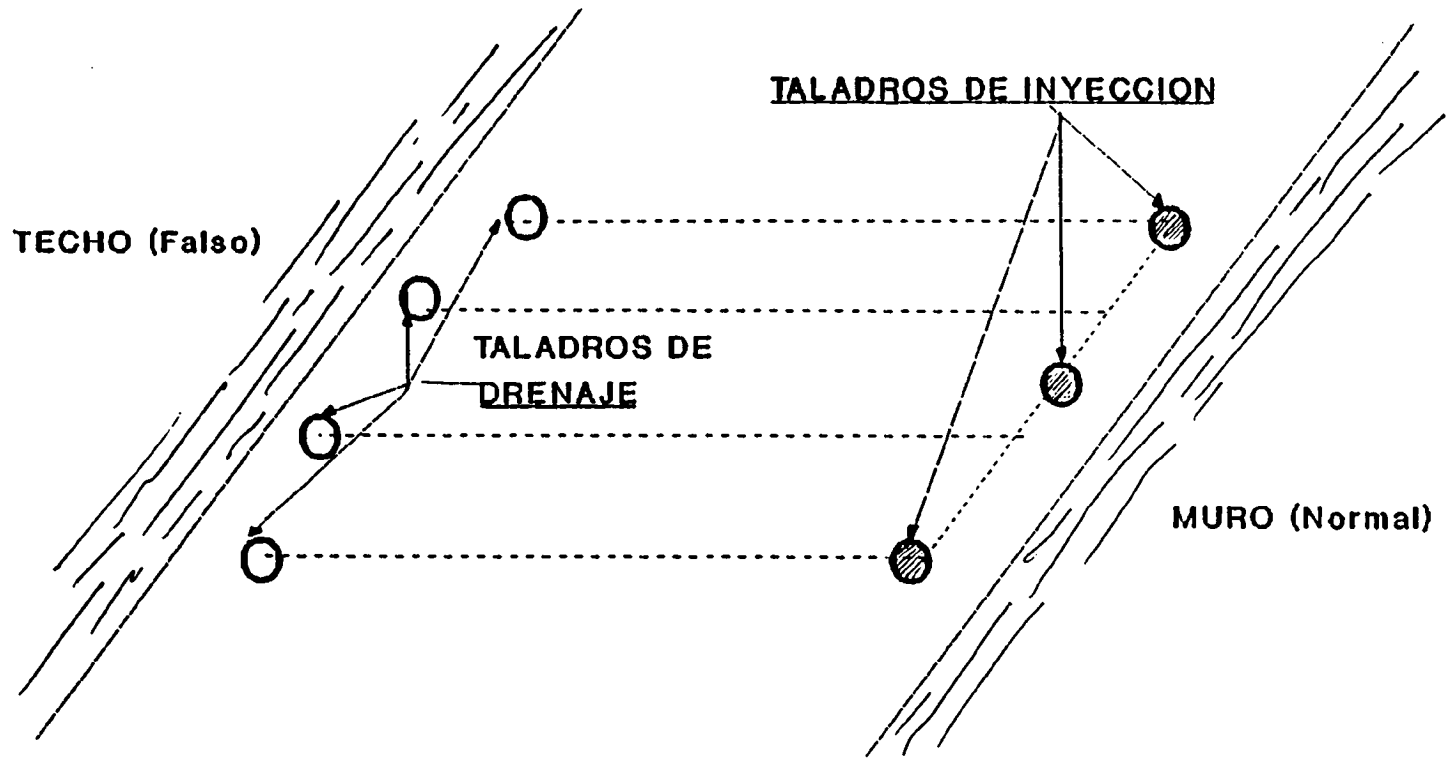
Hay algunos talleres en que uno de los hastiales es muy falso penetrando el agua en el mismo con el consiguiente peligro de hundimiento.

Para estos casos particulares, especialmente cuando la densidad de polvo es considerable, se ha ensayado con éxito la inyección a base de barrenar un cierto número de taladros de drenaje para evitar que el agua penetre en el hastial. El número de estos taladros depende de la inconsistencia o facilidad de penetración del agua en el hastial, y tiene por objeto la salida del agua al frente sin que penetre en el mismo.



Normalmente el número de taladros de drenaje es igual al de taladros de inyección menos uno. Para n taladros de inyección, los taladros de drenaje serán $n - 1$.

En casos muy especiales se pueden barrenar dos taladros de drenaje, comprendidos entre dos de inyección, siendo n el número de taladros de inyección, los de drenaje serán $2n-2$.



Bajo el nombre general de derrabes se incluyen varios accidentes de hundimientos en el taller de arranque, que provienen de deslizamiento o desestabilización de techo o de muro.

A este respecto solo queda añadir que existen algunos hastiales cuya desestabilización por el agua de inyección, en especial con inyección a corta profundidad, no puede ser evitada con los taladros de drenaje indicados, y en estos casos excepcionales la inyección a corta profundidad tendría un efecto perjudicial cara a estos hundimientos a veces denominados derrabes.

5.2 RECOMENDACIONES PARA EVITAR ACCIDENTES DURANTE LA INYECCION DE AGUA A CORTA PROFUNDIDAD

a) *Debidas al material de inyección en sí:*

Perforadora: *Llevarla bien cogida. Al trabarse la barrena en el carbón, puede girar la perforadora en sentido contrario.*

Cánula: *Si el barrenos es muy ancho, sus paredes muy lisas, o que la cánula no hincha lo suficiente, ésta puede salir hacia atrás con mucho peligro. No se debe poner nadie detrás de la cánula cuando se esté metiendo agua. Extremas las precauciones en talleres estrechos.*

Si se tiene que forrar la cánula con polvo de carbón, para que haga cierre estanco en el agujero, extremar las precauciones, pues ésta sale con mucha fuerza e instantánea, en el momento que falle ese forro que se pone.

Si se pone un taco de madera en un agujero para evitar que salga el agua, no pasar por detrás de éste, si se está inyectando, pues puede salir disparado en cualquier momento.

Manguera: No ponerla muy tensa por el taller, pues puede romper de cuajo al darle presión a la máquina.

Barrena: No emboquillar cogiendo la barrena con la mano pues puede producir cortes.

b) Debidas a la inyección de agua en sí:

Al meter el agua en el carbón, este podría desprenderse por ello en talleres verticales no se debe inyectar si la serie no está frenada y postea-da hasta el frente.

Procurar inyectar siempre en talleres verticales subiendo, empezar siempre a inyectar por las series primeras del taller, es decir las series de abajo.

Si por alguna razón se inyecta bajando por el taller, que vaya el que barrena con 2 series desfasado respecto al que inyecta.

c) Las propias del lugar donde se trabaja.

Cuidado al circular por un taller recién

inyectado, pues el agua con el polvo del carbón depositado en las mampostas forma una masa muy resbaladiza.

Circular con cuidado con el martillo y las barrenas; si se caen pueden alcanzar a otro compañero.

Si el horario es nocturno no hay que retrasarse en la hora de salida, pues es posible que ésta esté desfasada en poco tiempo con la hora de disparar los artilleros.

Mirar siempre bien si en los puntos donde se va a inyectar están en buenas condiciones de ventilación.

6 - INYECCION A LARGA PROFUNDIDAD

6 - INYECCION A LARGA PROFUNDIDAD

La inyección a corta profundidad a veces "rompe" el macizo de carbón pero no lo "moja" adecuadamente, mediante mayores longitudes de barreno, del orden de 5 metros y en las mismas condiciones de caudal y presión que anteriormente se logra introducir mayores volúmenes de agua, buscando el objetivo de aumentar su contenido en humedad del orden de un 3%, pero en estos casos pueden los hastiales deteriorarse peligrosamente.

Así las cosas un hecho casual demostró que introduciendo caudales de agua muy pequeñas del orden de 1 litro/minuto con las presiones necesarias en cada caso para conseguir estos suministros, era posible introducir un volumen mayor de agua dentro del macizo siempre, como es lógico, que se disponga de un mayor tiempo de inyección. Tuvo lugar esta comprobación en la cuenca hullera francesa de Calais, durante la inyección de un taller en el que se utilizaban taladros de 6 m. de longitud con grandes caudales y altas presiones. En esas condiciones se introducía agua durante unos 10', al cabo de los cuales comenzaba a salir hacia el taller a través de las fisuras formadas en el carbón. Un buen día, el operario de turno observó que concurrían dos hechos anormales que le llamaron la atención. Por una parte comprobó que el agua no salía

por el frente, a pesar de haber transcurrido un tiempo muy superior a los 10' usuales. Por otro lado, el sonido emitido por el elevador de presión refleja alguna anomalía en su funcionamiento. Hechas las oportunas comprobaciones se observó que si bien la bomba de inyección, debido a un fallo mecánico, no aportaba el caudal deseado, había sido capaz, mediante suministros muy pequeños, pero con tiempos de impregnación muy elevados, de introducir volúmenes de agua mucho mayores que por el anterior procedimiento.

Surgió entonces la idea , tan ventajosa por los motivos que a continuación veremos, de poner en práctica algún procedimiento que permita introducir caudales pequeños a lo largo de grandes períodos de tiempo con lo cual, tal como dijimos anteriormente, los volúmenes finales serían mucho mayores.

6.1 INYECCION PARALELA AL FRENTE DESDE LAS GALERIAS DE LA CAPA

Consiste este procedimiento en efectuar desde las galerías de cabeza y base, y en puntos situados muy por delante del taller en la zona aún no explotada, unos taladros hasta de 60 m de longitud, por los que se introducen caudales muy pequeños de agua, del orden de 1 l/min con la mínima presión necesaria para conseguir dichos suministros, la cual suele oscilar de 10 a 40 Kg/cm², con lo que, en muchos casos, es suficiente la presión de la red general de agua de la propia galería. La cantidad de agua a introducir debe ser superior al 3% del volumen del macizo que se trata de inyectar. Por este motivo, la impregnación se realiza con una antelación hasta de ocho meses respecto al momento de la explotación.

Vamos a analizar a continuación las distintas fases elementales de que consta el mismo:

a) Perforación de taladros:

Experimentalmente se comprobó -sobre todo en el caso de yacimientos con débiles pendientes- que el agua introducida por este procedimiento se suele

repartir sobre bandas de unos 15 m de anchura, paralelas, a partir del taller y ambos lados del taladro, con longitudes próximas, al menos, a la profundidad de dicho agujero y, en general, hasta dos veces su distancia. Por esta razón, y de acuerdo con la longitud del taller conviene perforar barrenos lo más profundos posible, utilizando máquinas adecuadas y barrenas empalmables con brocas de 45 mm. de diámetro.

Existen dos factores que dificultan, y hasta imposibilitan realizar este tipo de taladros. Son el grisú y el agua que, procedente de la galería superior, empapa el macizo en sus primeros metros. Respecto al primero, realiza un efecto triturador sobre el carbón haciendo que los "detritus" salgan en tal cantidad que atorán las barrenas, impidiendo, a veces, su recuperación. El agua, al formar barro con el polvo fino, atasca continuamente el taladro, desmoronando sus paredes y llegando a inutilizarle en muchos casos.

Estos inconvenientes se suelen subsanar controlando adecuadamente las características de los "detritus" hasta que la purga de agua desaloje convenientemente la masa triturada que se ha formado.

b) Introducción del flexible:

Una vez efectuada la perforación del taladro, la siguiente operación consiste en introducir, a lo largo de su mitad superior, un flexible de 13 mm de diámetro exterior en cuyo extremo posterior lleva adosado un capuchón de goma para impedir que, tal como veremos a continuación, la lechada de cemento descienda ocupando todo el taladro.

La introducción de este flexible, dada su escasa rigidez, se complica cuando el taladro está abnegado de agua o ligeramente obstruido por pequeños materiales que se desprenden de las paredes. En estos casos se facilita su entrada por medio de unas varillas de acero empalmables a las que se une el flexible con una atadura ligera.

c) Cementación:

Consiste esta fase en cementar el volumen de taladro comprendido entre el flexible, de diámetro exterior 13 mm y el barreno de 45 mm de diámetro.

La misión de esta cementación es impedir que el agua introducida por el flexible pueda retornar de nuevo a la galería a través del propio taladro.

Esta operación constituye la parte más delicada de todo el proceso, al ser preciso mezclas tales que, siendo lo suficientemente fluidas para descender, sin atascos, por espacios tan pequeños, sean capaces de resistir las presiones de entrada de agua, a veces, próximas a los 50 Kg/cm².

Una mezcla aceptable puede ser de la siguiente composición:

Cemento Aluminios50 Kg.

Agua30 Kg.

Arena fina20 Kg.

Cuando es precisa mayor fluidez se podrá utilizar:

Cemento Portland.....35 Kg.

Agua20 l.

El tiempo de fraguado, variable entre 3 y 10 días, depende fundamentalmente de la existencia de grisú u otros gases, los cuales, en su salida retardan el fraguado de la mezcla.

d) Introducción del agua:

Tal como se indicaba al principio, este sistema de impregnación pretende introducir caudales de agua del orden de 1 l/min. utilizando las presiones que en cada caso sean necesarias y que, como también dijimos, suelen variar entre 10 y 40 Kg/cm². Cuando la red general puede proporcionar dichas presiones, el proceso se reduce a acoplar a la misma los diferentes "tiros de inyección" que permanecerán funcionando continuamente.

En el caso de ser necesarias mayores presiones, estas habrán de ser suministradas por una bomba de inyección la cual puede alimentar continuamente hasta diez tiros.

e) Control del caudal introducido:

Si, como decíamos anteriormente, deseamos introducir cantidades de agua que supongan un 3% del volumen total del macizo a explotar, será preciso llevar un riguroso control del funcionamiento de cada tiro, controlando, mediante caudalímetros adecuados, las cantidades de agua realmente introducidas.

Es muy frecuente que el caudal aumente súbitamente al encontrar fisuras por donde circular fácilmente, ofreciendo el posible peligro de una acumulación de agua, sobre todo, en lugares próximos a los trastornos geológicos, etc. Como caso contrario, el flexible puede obstruirse necesitando mayores presiones para mantener los caudales fijados.

El control diario por personas responsables evita aquellos inconvenientes. Señalemos, también, que cada tiro sea provisto de una pequeña pizarra donde diariamente se registran los volúmenes introducidos.

f) Disposición de los taladros:

De acuerdo con el reparto de humedades, en donde se comprobó que la anchura de la zona afectada por un tiro no suele pasar de los 15 m, se recomienda no sobrepasar aquella distancia como separación entre tiros continuos. En cuanto a la profundidad de los barrenos, se pueden prolongar hasta $1/3$ de la longitud del taller, cuando se parte de las dos galerías, o $2/3$ cuando el taladro se hace exclusivamente desde la parte superior, caso este muy excepcional.

La eficacia de este procedimiento está condicionada por :

1º La foración y orientación de los agujeros.

2º Por el equipo y obturación que se le dé a los agujeros.

3º Por la puesta en infusión de los agujeros y la cantidad de agua necesaria a la buena impregnación de la masa.

Todos estos trabajos deben ser ejecutados por un personal cualificado y con formación apropiada a estas cuestiones.

En este método lo primero que debemos calcular es la distancia frente-agujero a partir de la cual la inyección deberá empezar.

g) Cálculo del número de agujeros necesarios:

Sea q el caudal en litros/hora, d la distancia entre dos agujeros consecutivos, t el grado de humedad necesario a la masa, en litros/m³ carbón L longitud del taller en metros, e potencia de la vena en metros, a es el avance medio previsto en

metros/día.

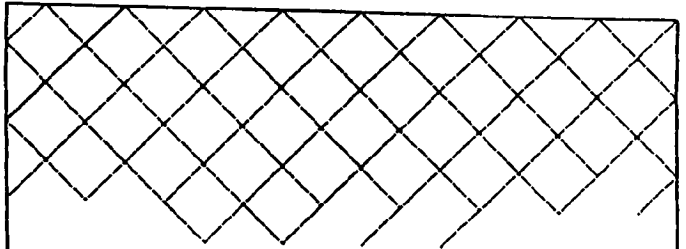
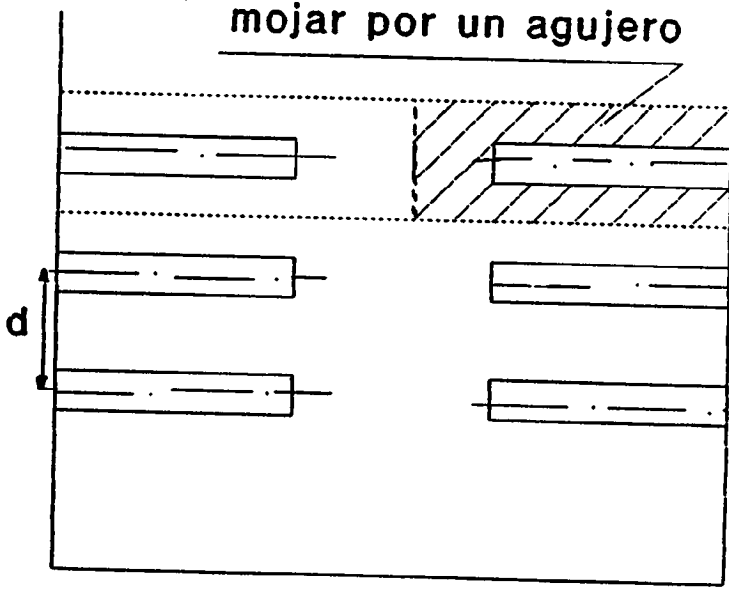
La masa de carbón que se debe mojar por cada dos agujeros opuestos es:

$$V = L \cdot d \cdot e = m^3;$$

entonces la cantidad de agua a meter es :

$$Q = t.V = \text{litros}; \frac{L}{2} \cdot d \cdot e \cdot t = \text{litros por agujero.}$$

Masa de carbón a
mojar por un agujero



Esta operación necesitaría :

$$\frac{Q}{2q} = T \text{ horas de inyección efectiva}$$

Si la inyección se hace sólo t_1 horas por día.
Se tendrá:

$$\frac{T}{t_1} = \text{días para hacer la operación completa}$$

Se debería comenzar, cuando el frente esté a:

$$\frac{T}{t_1} \cdot a = \text{metros del agujero.}$$

El número de agujeros a poner en infusión en cada guía será:

$$\frac{T}{t_1} \cdot \frac{a}{d}$$

h) Preparación y obturación de los agujeros:

Es una operación muy delicada y difícil. Dándose el caso de empezar con frecuencia varias veces un agujero, por tropezar éste con los hastiales demasiado pronto. La profundidad debe estar entre 30 y 60 m. Una vez se pase de 40 m es muy

difícil seguir, necesitándose para ello un personal muy cualificado.

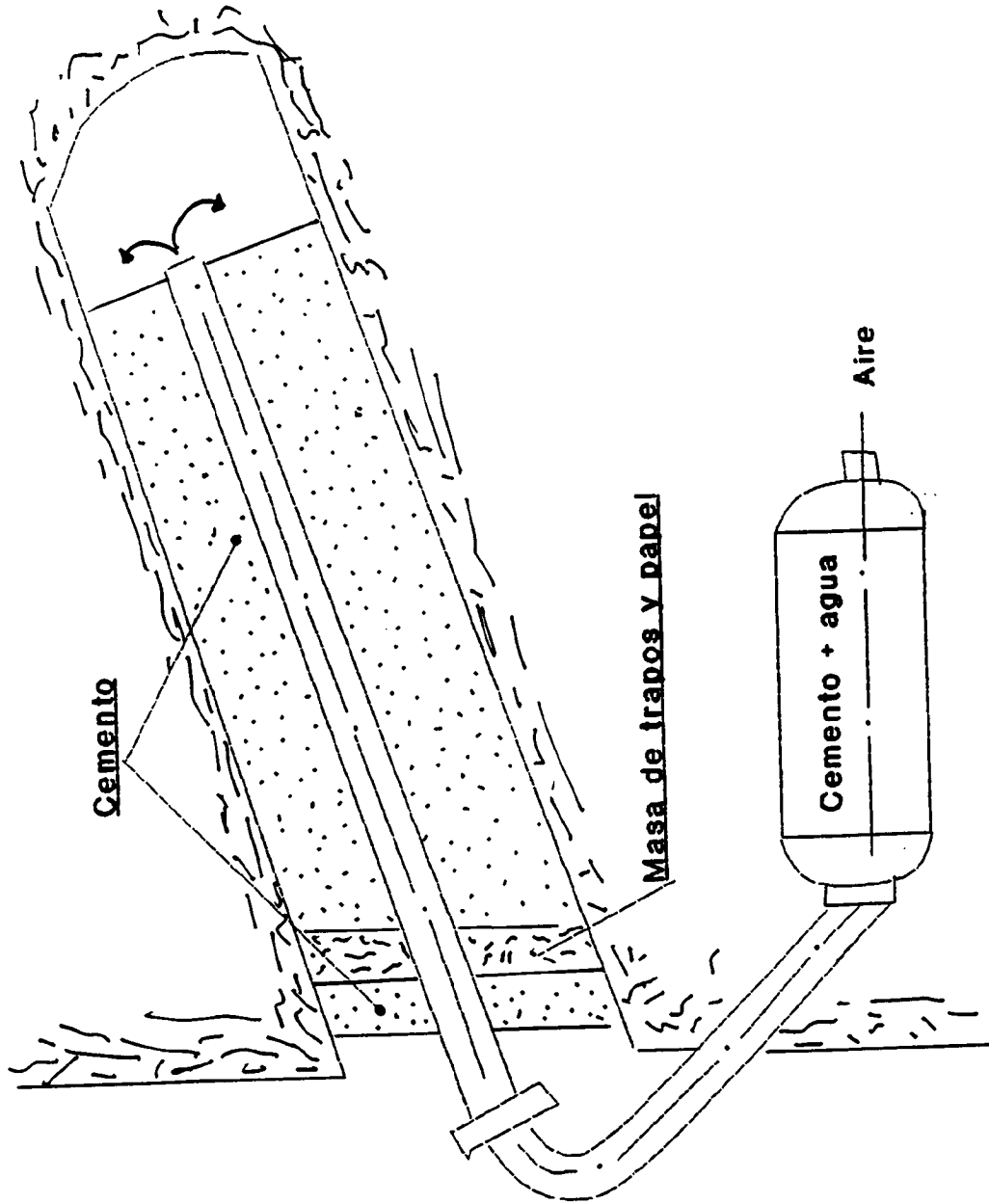
El agujero se hace con inyección de agua a la presión de la red que sirve para sacar el polvo de carbón formado al barrenar.

Se debe tener en cuenta, para hacer la perforación con un mínimo de garantía, la pendiente media de la capa, que se le da a la perforadora. Se debe verificar esta pendiente cada 30 cm en la primera barra a introducir y una o dos veces en la segunda.

i) Equipo de foración con agua:

Las barrenas son huecas y las brocas tienen dos agujeros para salida de agua, como se puede ver en la figura que se adjunta.

Existe un dispositivo de la casa Breschard, que son tres piezas empalmables, una unida a la barrena, otra a la perforadora y la del medio va a la red de agua. La pieza que se una a la barrena tiene un pequeño agujero por donde entra el agua a la parte hueca de la barrena.



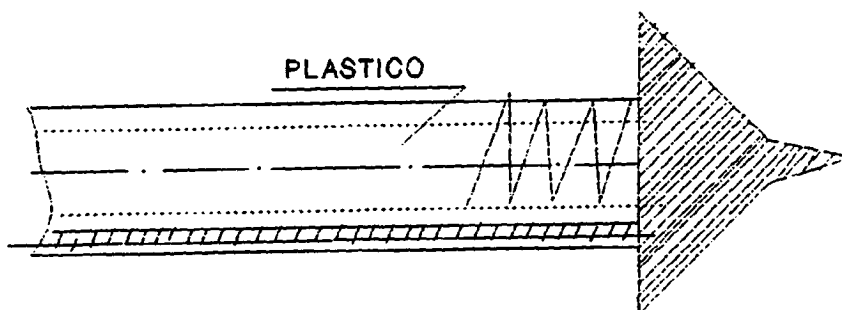
En la perforación descendente, las barrenas deben tener espiras, para ayudar a salir los lodos que formó el agua inyectada.

En la perforación ascendente estos lodos bajan por su propio peso y no hace falta que las barrenas tengan espiras. Normalmente son redondas.

La pieza que se une a la barrena tiene un pequeño agujero por donde entra el agua a la parte hueca de la barrena.

Una vez se ha acabado de hacer el agujero, se mete en él el flexible de plástico por el que introduciremos el agua posteriormente. Como este plástico no es lo suficientemente rígido para poder meterlo junto con el embudo, se ayuda esta maniobra con unas barras de hierro que se van acoplando cada dos metros.

Estos dos tubos se empalman con un alambre y una vez metidos los 20 m, por un ligero movimiento del hierro se separan y se deja solamente el plástico.



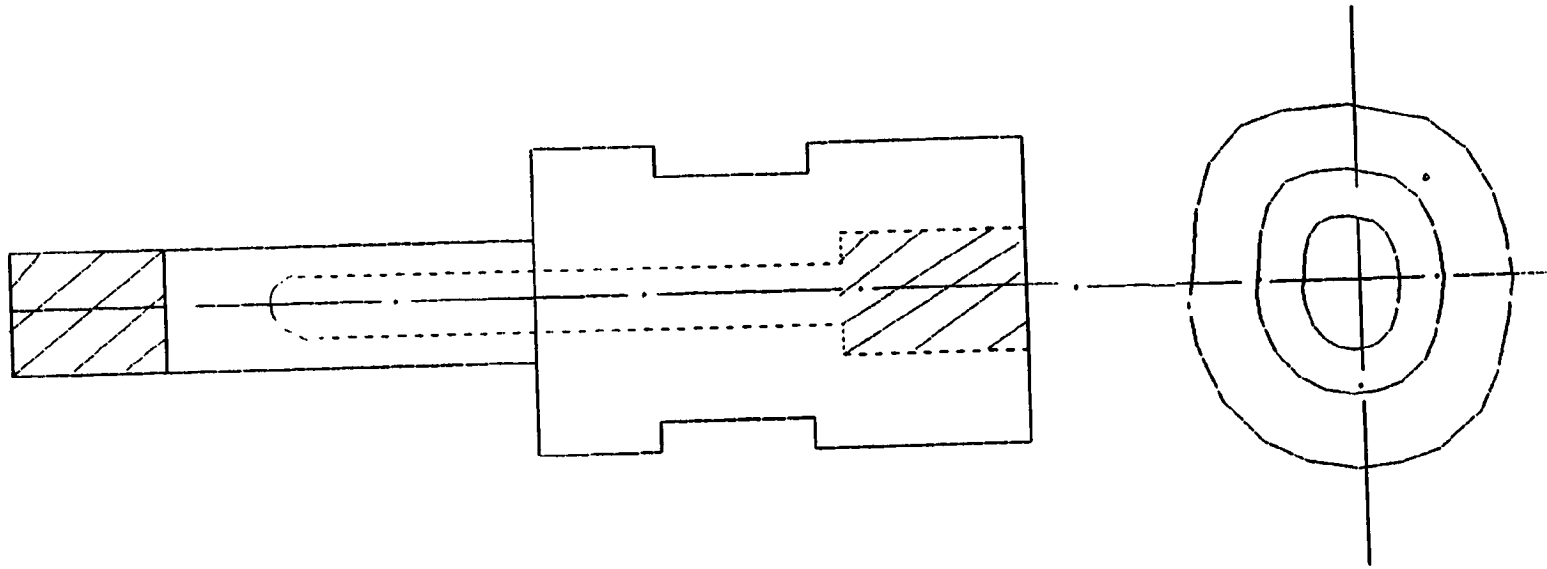
Una vez el tubo dentro, en los taladros ascendentes, se mete otro tubo de hierro de más diámetro, de unos 70 cm de longitud y 50 mm de diámetro, por donde ha de entrar el cemento.

El tubo de hierro se sujeta con bolas de papel, trapo y cemento, que constituye una especie de tapón para que el cemento líquido no caiga hacia atrás. Al día siguiente se mete a presión el cemento hasta la altura deseada, por medio de un calderín adecuado.

En agujeros descendentes el cemento descendería por gravedad, debiendo construir un tapón de

cemento en el empalme con la manguera de alta presión.

*Después es necesario esperar 48 horas para
inyectar agua.*



Una vez se da el agua se pone en el agujero un cartel indicativo de agua introducida, profundidad, etc.

Agujero nº:

Longitud:

Puesto en servicio:

Volumen agua a la

fecha: X m³

Fecha:

La distancia entre agujeros va de 15-30 m según el carbón admita peor o mejor el agua.

Se usa un contador que marca: 1 l, 10 l, 100 l, 1 m³, 10 m³, 100 m³, 1.000 m³, y 10.000 m³.

Este método de inyección, que es completamente independiente del ciclo de producción, puesto que deja el taller completamente libre, debe ser conducido de acuerdo con la explotación.

Se debe conocer con anterioridad el comienzo de la explotación del taller, el plan de trabajos y los avances previstos en cada época.

6.2 CONSECUENCIAS DEL METODO

De las pruebas realizadas por este método se deducen las siguientes consecuencias:

- 19) La perforación de los taladros en sentido descendente viene a veces dificultada por la existencia, en los primeros metros del macizo, de agua de impregnación que anega constantemente el barreno hundiendo sus paredes, con lo cual se inutiliza el tiro al no ser posible la posterior introducción del flexible. En estos casos puede intentarse extraer el agua de impregnación mediante la utilización de un sifón o balsas de pequeñas profundidades despiladas en el macizo. Cuando estas medidas no den resultados es preferible suprimir los barrenos en el tramo de galería correspondiente aumentando la longitud de los tiros ascendentes perforados desde la galería inferior.

Para realizar este procedimiento de inyección es preciso partir de galerías de cabeza y base suficientemente adelantadas a fin de poner en funcionamiento tiros de infusión con varios meses de anterioridad sobre la llegada del frente de arranque al lugar de la inyección. Como es lógico, la longitud necesaria de las galerías dependerá

del avance medio del taller.

Por lo dicho anteriormente este método es muy recomendable cuando la explotación se realiza en retirada, ya que entonces se dispone de galerías suficientemente adelantadas.

20) En la mayor parte de los casos, los caudales de entrada del agua varían entre 0,5 y 2 l/m. Las presiones necesarias fueron de 40 a 50 Kg/cm² en los primeros días de funcionamiento del tiro para llegar, en algunos casos, a la presión de la red general de agua, aunque periódicamente, cada tres o cuatro días, se necesitará reforzar con presiones procedentes de una bomba de inyección trabajando alrededor de los 50 Kg/cm².

Como fácilmente se advierte, el verdadero éxito de este sistema de infusión tiene lugar cuando se aprovecha exclusivamente la presión de la red de agua para realizar la inyección. En algunos casos, como antes veíamos, la escasa presión de dicha red hace necesario el empleo de sobrepresiones proporcionadas por la bomba de inyección.

30) El agua introducida, tanto por taladros descendentes como ascendentes, se pueden repartir sin

demasiada uniformidad en franjas de unos 10 a 15 de anchura total y longitudes que oscilaban entre 1,5 y 2 veces la profundidad del barreno en caso de tiros descendentes, mientras estas longitudes son ligeramente inferiores, llegando escasamente a 1,5 la profundidad del taladro, cuando los barrenos se perforan desde la galería inferior.

49) Los aumentos registrados en la humedad del macizo inyectado alcanzarán límites superiores al 3% en aquellos tramos comprendidos entre 20 y 30 m de longitud, más próximos a las galerías de cabeza y base, respectivamente. En el resto del taller se alcanzarán porcentajes próximos al 2,5% aunque distribuidos de forma más irregular por el macizo. En efecto, a lo largo del taller se observarán zonas prácticamente secas mientras otros puntos serán pequeños manantiales por los que fluya constantemente el agua.

Para finalizar la descripción de este sistema de inyección vamos a enunciar sucintamente lo que puede considerarse como sus principales ventajas e inconvenientes.

Entre las ventajas:

- a) La inyección se hace independiente de los trabajos de arranque.
- b) Por realizarse la impregnación en la zona microfisurada, el reparto de humedad es mucho más homogéneo.
- c) Al poder efectuarse la infusión con suficiente antelación al consiguiente deshulle, se requieren pequeños caudales y bajas presiones, lo cual facilita la operación y disminuye peligrosos efectos dinámicos sobre los hastiales.
- d) Los taladros en zona virgen y de gran longitud actúan como sondeos de desgasificación en los casos de capas grisuosas, reforzando la prevención de derrabes.
- e) Desde el punto de vista económico representa una gran reducción en los costos de inyección.

Inconvenientes del sistema

- a) Al ser preciso comenzar la impregnación del macizo varios meses antes de realizar su explotación, es

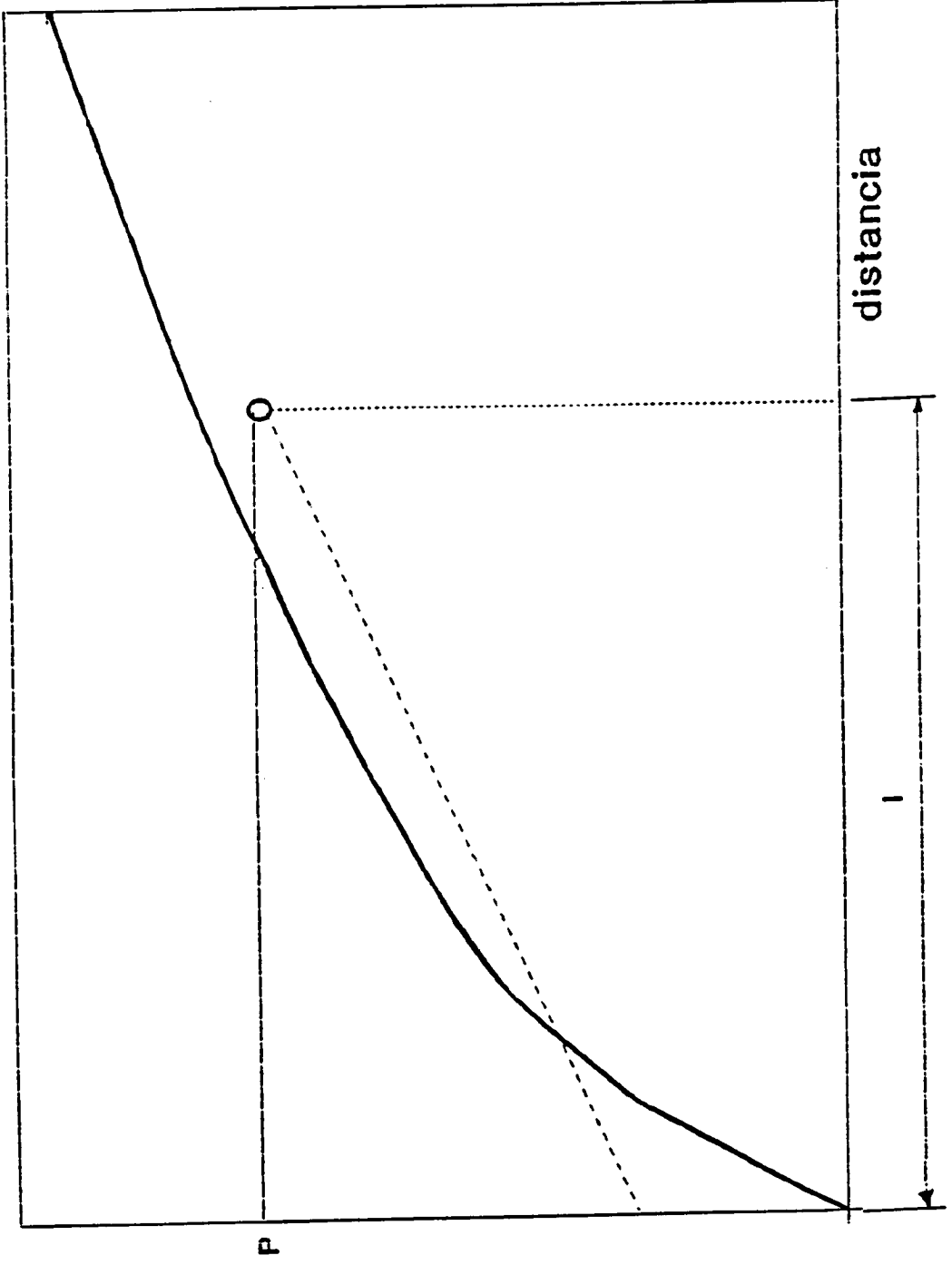
necesario que las galerías desde las cuales se realizarán los taladros se encuadren suficientemente adelantados respecto al taller.

- b) El reparto del agua a través del macizo sigue leyes bastante arbitrarias, con lo cual pudiera suceder que unas zonas queden muy humificadas en detrimento de otras. Por idéntico motivo pudieran producirse deterioraciones, tanto de los hastiales como en las zonas próximas a los trastornos geológicos.
- c) En capas irregulares es muy difícil realizar taladros de larga longitud lo que imposibilita el método. A la vista de estas consideraciones, se observa la necesidad de completar este procedimiento de infusión por algún otro sistema con el que, manteniendo las ventajas de los pequeños caudales y bajas presiones, se consigan unos repartos más uniformes de la humedad en el macizo, o caso de no poder realizar los largos taladros exigidos por la inyección desde las guías, se mantengan las ventajas de la inyección con bajos caudales y presiones.

7 - INYECCION A MEDIA PROFUNDIDAD

7 - INYECCION A MEDIA PROFUNDIDAD

Con la inyección a media profundidad, se consigue llegar siempre a la zona microfisurada, obteniéndose las ventajas descritas para este caso. Debido a la pérdida de presión del agua al atravesar el macizo de carbón, el gradiente de presiones es muy lento, dando lugar a un largo tiempo de contacto agua-carbón; asimismo permite la inyección con las bombas usuales a un bajo caudal .



Vemos pues que, desde el punto de vista de prevención de silicosis, sólo ofrece ventajas una vez efectuado; los inconvenientes son de tipo práctico siendo los principales los siguientes:

- 1º) Dificultad de conseguir una longitud de taladro aproximado a 6 m sin que las barrenas incidan antes en uno de los hastiales si la potencia de la capa no es grande.
- 2º) Dificultad de introducir la cánula de longitud adecuada si el taladro atraviesa zonas de "tierra" plástica, y necesidad de dejar el taladro perfectamente franco ya que en algunos casos, y debido a las presiones en el carbón, el taladro, se deforma o "hunde" no permitiendo la introducción de la cánula.
- 3º) Dificultad de extraer la cánula de esta longitud (5 m) de taladros donde éstos son fácilmente deformables, o donde el carbón es muy duro quedando el taladro con entrantes que al hinchar la cánula se introducen en la misma, no saliendo en el deshinchado.
- 4º) Dificultad que representa el largo tiempo de inyección de un taladro (llega a 4 horas).

Puede necesitarse en algunos casos sustituir el sistema por otro que pudiendo ser utilizado a lo largo de un solo relevo compense el menor tiempo de impregnación introduciendo mayores caudales de agua y por lo tanto más altas presiones.

Surge así el procedimiento llamado MULTICANULA cuyo fundamento se basa en introducir agua simultáneamente en 4 ó 5 taladros de más de 3 a 5 m de longitud, mediante cánulas BP. La experiencia muestra, y un cálculo de pérdidas de carga lo confirma, que la presión necesaria para introducir un caudal determinado en un macizo, disminuye cuando se aumenta el número de cánulas entre las que se reparte el suministro. En estos casos, para introducir caudales del orden de 5 l/m, se precisan presiones variables entre 60 y 90 Kg/cm², las cuales son proporcionadas por bombas de inyección.

La regulación de los caudales introducidos en cada tiro se consigue con éxito mediante la utilización de válvulas muelle-bola situadas en el extremo de la cánula, con orificios de salida de diámetros comprendidos entre 1,5 y 2 mm.

Este sistema, como vemos, constituye un proceso intermedio entre las altas presiones y grandes caudales, en donde el agua salía rápidamente por el frente,

y los procedimientos de infusión permanente con caudales próximos a 1 l/m y presiones inferiores a 40 Kg/cm².

La inyección con multicánula, que consiste en la impregnación simultánea de varios taladros, puede hacerse en un sólo relevo, extrayendo las cánulas al final, o en varios, dejando las cánulas introducidas para continuar la inyección en días sucesivos; este último procedimiento, el más interesante desde el punto de vista de prevención de silicosis, tiene el inconveniente de tener mayor consumo de cánulas, pues al hacer el arranque, con éstas introducidas total o parcialmente, se pueden romper o deteriorar; no obstante es un procedimiento que en talleres adecuados, permite subsanar la dificultad del tiempo de inyección, y al ser ésta casi continua, la pérdida de humedad por evaporación, no ejerce influencia en el "mojado" del carbón.

7.1 INYECCION PERMANENTE PERPENDICULAR AL FRENTE

Consiste este procedimiento en realizar taladros perpendiculares al frente, de unos 3 a 5 m de longitud, en los que se introduce una cánula cuya curva de hinchamiento permite una dilatación a presiones del orden de los 7 Kg/m²., con una válvula final de muelle y bola cuya misión es conseguir una presión adecuada dentro de la cánula, a fin de que esta se adhiera firmemente a las paredes del taladro impidiendo el retroceso del agua por el mismo y facilitando caudales de entrada del orden de 1 l/min.

Las cánulas se denominan tipo M.B.P. o BP, de acuerdo con su dilatación, y a través de una instalación adecuada se conectan, si es suficiente la presión, directamente a la red de agua de la mina, soslayando así el uso de las costosas bombas de alta presión.

La cánula permanece continuamente en el interior del taladro, mientras los picadores realizan su trabajo, hasta que el avance del taller aconseja reprofundizar el barreno.

Este sistema de inyección, que complementa eficazmente a la impregnación realizada desde las galerías, presenta algunas dificultades de instalación

cuando la explotación está mecanizada y la máquina de arranque ocupa todo el espesor de la capa, o cuando, sin mecanización, la abertura del taller es tan reducida que se dificultan los trabajos de arranque al permanecer continuamente introducida la cánula en la capa. De todas formas, este procedimiento de infusión permanente, se considera como el más eficaz para luchar contra el polvo durante las operaciones de arranque. En efecto, entre sus principales ventajas, respecto a la inyección con altas presiones y caudales, caben destacar:

- a) La circulación lenta del agua en el macizo asegura una mayor impregnación de la vena y una mayor repartición de la humedad.
- b) Se evitan o disminuyen los posibles efectos dinámicos sobre los hastiales y trastornos geológicos.
- c) Esta inyección disminuye la dureza del carbón y facilita el arranque, incluso se obtuvieron buenos resultados en capas con tierras duras intercaladas.

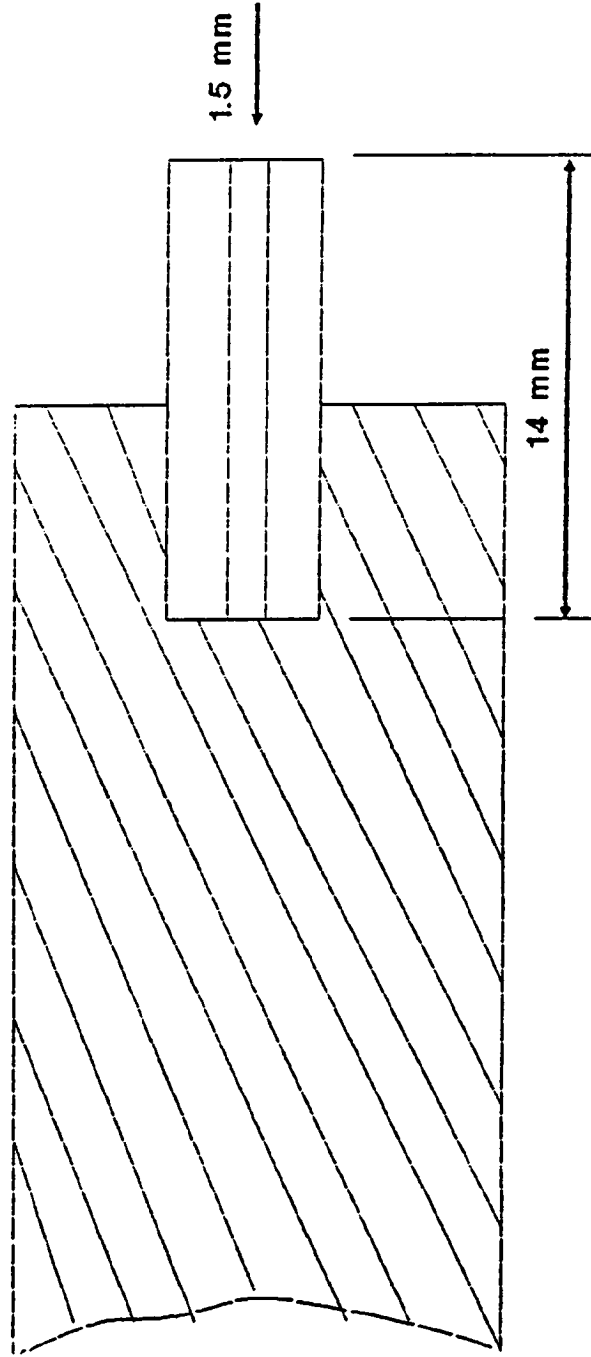
La regulación de caudales para cada taladro, cuando el carbón no es muy duro, se puede hacer por llaves de paso intercaladas entre la red y la cánula, colocando un contador de alta presión a continuación de estas llaves.

También puede instalarse un contador de baja presión, entre la máquina y la manguera de alimentación de agua, intercalando una llave a la entrada de éste para hacer la regulación del caudal. En este caso conviene comprobar que la máquina no se descarga. Para ello se observará el manómetro situado a la salida de la red.

El caudal de agua varía bastante durante la inyección, debiendo vigilarse y controlarse este caudal durante la misma, lo que exige un máximo de atención, y que, a pesar de todo, da lugar a diferencias de caudal considerables de un taladro a otro. Esto se subsanó con una modificación de las cánulas "petrometalic" que en dos pruebas importantes que se hicieron dieron resultados satisfactorios.

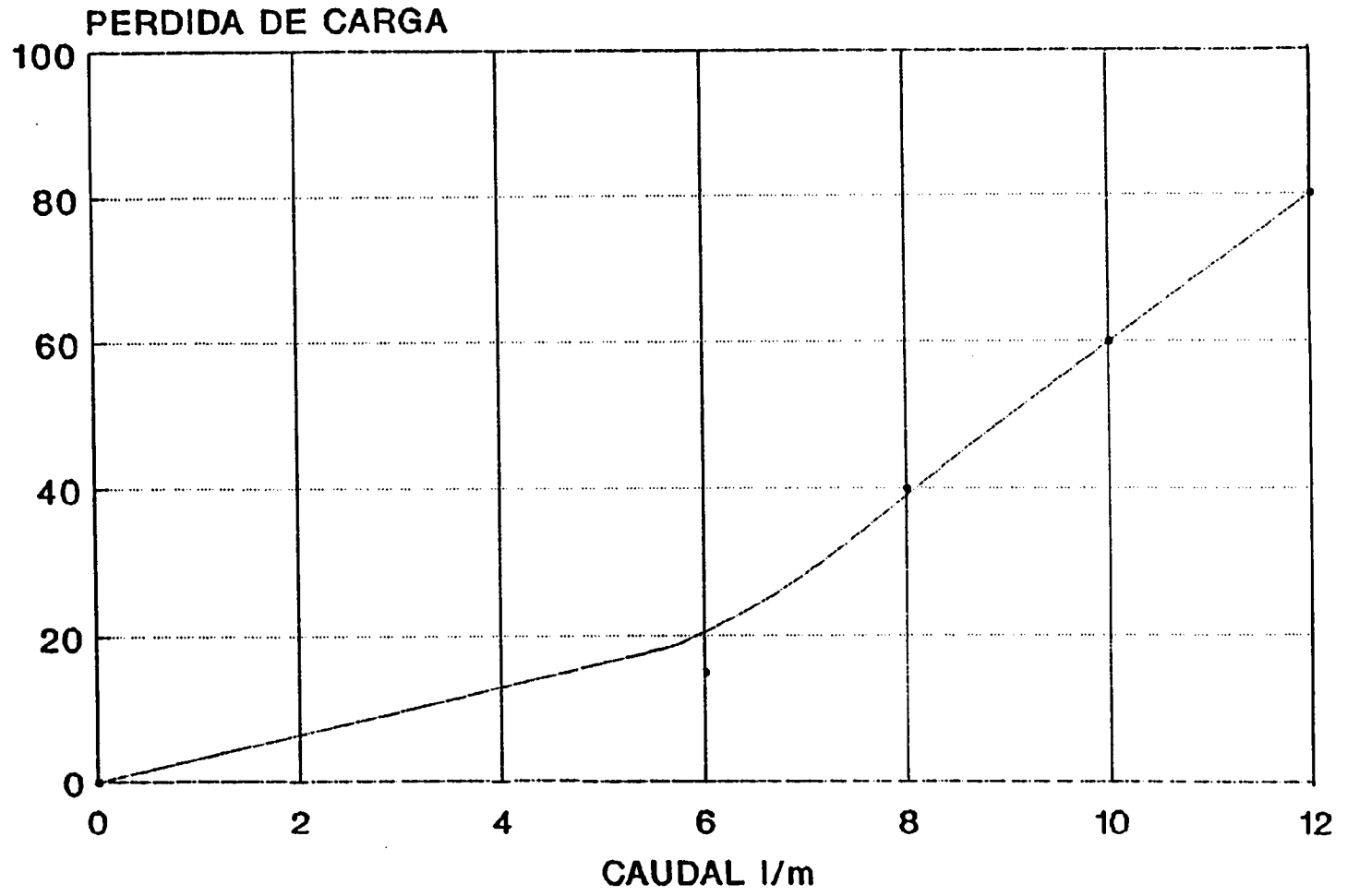
Se modifica la cánula Petrometalic de la siguiente manera: en el embudo terminal, reemplazamiento de la válvula de bola por un tapón cilíndrico de 14 mm de longitud y con un agujero de 1,2-1,5 mm de diámetro.

CANULA



La cánula así transformada introduce entre el flexible y la cámara de infusión, una pérdida de carga que aumenta muy rápidamente con el caudal; la determina experimentalmente, midiendo el caudal de la cánula con la salida libre y bajo presiones diferentes.

En una cánula de 6 m de longitud y agujero de 1,5 mm, que se usan en talleres, la curva que nos da la pérdida de carga en función del caudal es:



Esta tobera que se mete en la cánula juega un doble papel:

1º- Mantiene la presión de la red de impregnación de la cánula para que la haga hinchar y asegure así una buena estanqueidad.

2º- Asegura la auto-regulación y permite el acople. En efecto:

Sea P (presión) y Q (caudal) las características de la red de infusión; R (función del tiempo), la presión de resistencia de un agujero. La pérdida de carga en una cánula en función del caudal q , es de forma k_q^2 .

Acoplemos dos cánulas idénticas. Para la primera cánula tenemos:

$$R_1 + Kq_1^2 = P$$

Para la segunda :

$$R_2 + Kq_2^2 = P$$

Para el conjunto:

$$q_1 + q_2 = Q$$

Entonces:

$$R_2 - R_1 = K (q_1^2 - q_2^2) = K (q_1 - q_2) Q$$

$$q_1 - q_2 = \frac{R_2 - R_1}{KQ}$$

O sea que las variaciones de q en función de R son tanto más pequeñas y la regulación tanto mejor, cuanto más grande es K .

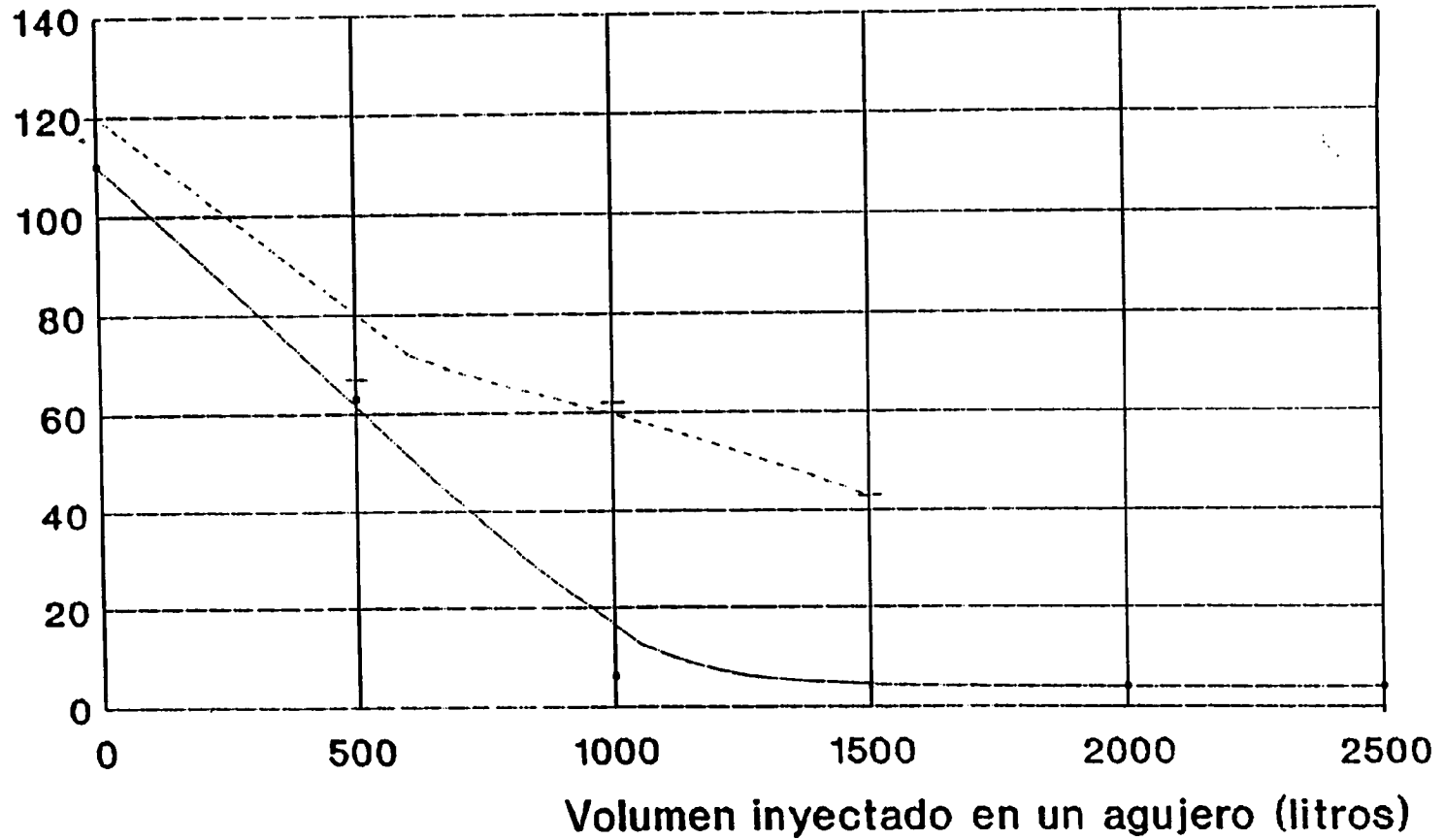
Expresando el caudal en litros/minuto y la pérdida de carga en bars, se obtienen los valores siguientes para K ;

Cánula prevista de una tobera de 14 mm y con agujero de 1,5 mm de \varnothing : $K = 0,55$ (determinado experimentalmente).

Cánula normal $K = 0,12$

Si se hace un diagrama, poniendo en abscisas el volumen inyectado en un agujero y en ordenadas la presión en el interior de la cámara de infusión (presión de la red de infusión disminuida en la pérdida de carga en la cánula).

--- Series 1 +- Series 2



La superficie comprendida entre una curva y el eje de abscisas es PdV es decir, el trabajo disipado en la masa con ocasión de la infusión. La disipación de este trabajo se traduce marcadamente por efectos dinámicos en la masa y en los hastiales. Se constata que el trabajo es menor para introducir 2.500 litros de agua en infusión lenta con cánulas acopladas modificadas, que para introducir 1.500 litros de agua en infusión normales con cánula corriente.

Son pues dos ventajas muy importantes de la infusión lenta:

1º- Circulación al ralenti del agua en la masa y mejor impregnación de la vena.

2º- Disminución de los efectos dinámicos de la infusión sobre la masa y los hastiales.

7.2 CONCLUSIONES SOBRE LA INYECCION A MEDIA PRESION POR EL SISTEMA MULTICANULA

A la vista de los resultados obtenidos en los ensayos del procedimiento de infusión multicánula se deducen las siguientes conclusiones finales:

- 1) Este sistema de infusión de agua aumenta considerablemente el porcentaje de humedad en el carbón, consiguiendo repartos muy uniformes del agua en el macizo y alcanzando fácilmente límites de humedad del 3%.
- 2) Los niveles pulvígenos, en las condiciones de las pruebas, disminuyeron desde 7,2 a 2 mg/m³ de polvo respirable, respectivamente.
- 3) Con dos operarios, uno de ellos sondista y el otro ayudante, es posible inyectar un taller formado por 25 series de 6 m de longitud.
- 4) Al no superar las presiones de inyección límites de 70 Kg/cm², los efectos dinámicos sobre los hastiales se ven, en estos casos, muy disminuidos, con lo cual este procedimiento es indicado para capas con hastiales débiles.

- 5) A pesar de las ventajas de este procedimiento de infusión de agua, creemos que sus verdaderas posibilidades se reflejarían en la inyección de un taller explotado por frente único, donde la separación de los barrenos viene dada, con bastante aproximación, por la fórmula empírica:

$$\frac{\text{Separación taladros}}{\text{Longitud taladros}} = 1,5$$

En estas condiciones, cuando se perforan taladros de 6 m de longitud, la separación entre los mismos llegaría a ser 9 m, frente a los 6 m utilizados en nuestras pruebas. Vemos, pues, que en la explotación mediante frente único, la longitud del taller inyectado con los mismos medios materiales superaría en un 50% a los talleres explotados por testers, lo que demuestra la posibilidad de inyectar holgadamente mediante dos operarios, dos talleres de 100 m de longitud cada uno.

- 6) Además de la mayor eficacia en cuanto a la reducción de las partículas pulvígenas, también se observó una rentabilidad económica favorable al sistema multicánula, respecto a un procedimiento convencional de alta presión.
- 7) Cuando la potencia media de las capas es inferior

a los 60 cm, existen dificultades de perforación que aconsejan disminuir los barrenos a longitudes próximas a los cuatro metros. Para potencias menores, en que se hace muy dificultoso el transporte y manipulación de materiales por el taller, las posibilidades de este procedimiento se reducen ostensiblemente al ser necesaria gran movilidad para realizar el procedimiento y observar sus resultados.)

7.3 INYECCION MULTICANULA COMPLEMENTANDO LA INFUSION DE AGUA REALIZADA DESDE LAS GALERIAS DE CABEZA Y BASE

Tal como se hizo constar anteriormente, es necesario completar la infusión paralela al frente con otro sistema que, partiendo del propio taller y a base de barrenos perpendiculares de 5 o 6 m de longitud, permita repartos más uniformes de la humedad.

Se utilizarán cánulas BP de 5 m de longitud con diafragmas finales de 1,5 x 8 mm, introducidos en taladros de 7 m de longitud y 42 mm de Ø.

Con ciclos de perforación de seis días será suficiente para conseguir humedades en todo el macizo por encima del 3%.

En el siguiente cuadro se resumen los valores de las humedades antes y después de la inyección:

Macizo sin inyección	Con inyección paralela al frente	Inyección paralela + Inyección multicánula
= 1,32%	= 3,19%	= 4,23%

Se ve, pues, que complementando el procedimiento de infusión paralelo al frente con otro sistema realizado desde el propio taller, por ejemplo multicánula, se obtienen resultados de impregnación muy satisfactorios.

8 - PRETELE-INFUSION

8 - PRETELE-INFUSION

Con este procedimiento se inyectan paneles vírgenes con mucha antelación a su explotación mediante taladros efectuados desde otras labores contiguas. Se suele utilizar este sistema con éxito en talleres de avance muy rápido en los que la inyección desde las galerías tiene dificultades de realización. En estos casos, además de hacer la inyección independiente del ciclo de arranque, y por tanto de la velocidad de explotación, se facilita la desgasificación del yacimiento en aquellos casos donde el grisú constituye un problema.

9 - INYECCION DE AGUA COMO PREVENCION DE FENOMENOS
GASEODINAMICOS EN EL AVANCE DE GALERIAS DE CARBON

9 - INYECCION DE AGUA COMO PREVENCION DE FENOMENOS GASEO-DINAMICOS EN EL AVANCE DE GALERIAS DE CARBON

En la Unión Soviética se utiliza la inyección de agua en capa para prevenir (D.I.) en el avance de guías de carbón, ya que ésta modifica el estado tensional del macizo, favorece la convergencia de hastiales y desplaza hacia el interior del macizo la zona de altas presiones.

Otros efectos que produce la inyección de agua, como la disminución del rozamiento interno del carbón, y el rozamiento capa-hastiales favorecen la fluencia de la capa y la apertura de fisuras que ha su vez facilitan la desgasificación lenta del macizo.

Sin embargo, aunque la inyección puede aumentar en cierto grado la cohesión interna del carbón, si el contenido de agua que se introduce en el macizo no es bien controlado, de manera que supere cierto valor, pueden producirse fluidificaciones y deslizamientos excesivos y en caso extremo llegar a generar fenómenos gaseo-dinámicos, especialmente cuando se trata de carbones frágiles.

En general se busca introducir por medio de la inyección del orden de 20 litros de agua por toneladas

de carbón, según la Regeneración Rusa para capas con D.I.

Si se trata de un carbón de 1.5 t/m^3 de densidad, caso muy común en nuestras cuencas, (aunque lógicamente la densidad de cada capa en particular será la correspondiente, muy en función de su contenido en cenizas), 20 litros/t equivalen a : $\frac{200}{1.000} \times 100 = 3\%$ de contenido en volumen.

Es decir, el valor ya manejado en los capítulos anteriores referidos a talleres de explotación.

En la URSS utilizan tres métodos de inyección de agua en el avance de guías:

- a) Inyección a alta presión.
- b) Inyección a bajo caudal, en aquellas zonas donde este método permite alcanzar habitualmente el contenido de 20 l/t.
- c) Inyección a gran caudal y alta presión, cuando la organización del avance no permite los amplios tiempos de inyección que exige el método a) para alcanzar el contenido de 20 l/t.

En este último método al forzar los parámetros

de inyección en vena, podría llegarse a generar un D.I. con la inyección, por lo que cuando se aplica deben aplicarse precauciones especiales.

El método b) requiere bombas y mangueras de inyección especiales, por lo que puede quedar como solución para aquellas zonas en las que otros métodos de prevención sean muy costosos o inaplicables.

En general, con los medios disponibles en nuestras minas, podremos aplicar el método a) que pasamos a describir seguidamente.

Se comienza por realizar un sondeo de 42 a 50 mm de diámetro en el frente de la galería en avance, hacia la zona alta de la capa, en su tercio superior, para conseguir en la corona del franqueo de galería, una buena impregnación. Debe tener una longitud mínima de 4 metros, de los cuales 3,5 serán ocupados por la cánula hinchable dejando 0,5 metros como cámara de inyección.

Se introduce agua hasta que:

- Se alcancen los 20 litros/t.

- La bomba pierda presión.

- O el agua salga franca por el frente.

Si la impregnación resultó eficaz, puede la guía realizar un avance equivalente a la longitud del sondeo, a partir de lo cual deberá realizarse un nuevo ciclo de inyección.

Mientras se ejecuta la inyección de agua, y por el efecto de la misma sobre el macizo de carbón, puede producirse algún efecto gaseo-dinámico, por lo que debe impedirse la presencia de personal en la corriente de ventilación afectada por la labor.

Cuando el carbón es fácilmente derrabable, en la corona del franqueo deben hacerse unos taladros a una distancia de 25 cm entre ellos, para introducir resina en cartuchos, con intercalaciones de madera, con el fin de consolidar la zona superior del franqueo de la capa.

Este método es muy recomendable para capas o zonas de capas con gran tendencia a producir D.I. en las cuales los sondeos de desgasificación no son suficientes.

Debe comprobarse la eficacia del taladro inyectado para el macizo correspondiente a su longitud, esto puede realizarse por mediación del caudal de gas

desprendido en un taladro de perforación en el macizo, de tal forma que cuando los caudales de gas obtenidos lo aconsejen, se pospone el disparo de la labor para el día siguiente, facilitando la desgasificación y asentamiento de la labor.

En general la inyección se efectúa sobre los frentes de avance desde la propia labor, pero en aquellos casos en que exista una galería en roca suficientemente próxima y abierta con suficiente adelanto respecto al frente de la guía, se pueden perforar sondeos desde esta galería en roca y realizar así una inyección más amplia.

Se han realizado pruebas en la guía María -6ª P.- 1º Cuartel Norte, del Pozo S. Antonio de HUNOSA.

La guía se avanza con una sección de 7 m² y entibación con cuadro metálico tipo 1 WF, se franquea el muro de arenisca.

La capa en la labor tiene una potencia media de 1,80 m con una vena al techo, una intercalación de pizarra y una vena al muro.

La galería se encuentra próxima a las antiguas labores de 5ª Planta con un macizo de carbón intermedio

de unos 13 metros, por esto la labor está sometida a una sobre presión residual y parcialmente desgasi-
ficada, obteniéndose valores de 6 m³/t frente a 10 m³/t
en 7^a Planta, 85 metros más profunda.

Así mismo se han tratado con inyección de agua
las guías sobre capa María y Valdeposadas del mismo
Pozo.

La primera entre Junio a Diciembre de 1.989,
se inyectó desde el frente y desde Diciembre 89 a Julio
1.990, por sondeos perforados desde la galería en
estéril de 7^a Planta, dada su proximidad. La guía
Valdeposadas desde Junio 1.989 a Julio 1.990, desde el
frente de la labor.

La comparación cualitativa del avance de la
labor, con sondeos de desgasificación o con inyección
de agua, el favorable a esta última por tres aspectos:

- Disminución del polvo.
- Menos derrabes y desprendimientos.
- Más facilidad de perforación y cargue.

Durante la inyección de agua se emiten bastan-
tes ruidos, prueba de que el macizo de carbón trabaja,

generándose la correspondiente distensión.

En las pruebas de perforación se comprueba que el avance del cuarto o quinto metro se produce atascamiento de las barrenas.

Debe destacarse que la inyección de agua en avance de galerías es muy positiva como prevención de D.I., pero no es definitiva en cuanto a los derrabes, en carbones flojos, por lo que debe complementarse mediante empquetadura o refuerzo de la corona con cartuchos de resina. Los ensayos realizados hasta la fecha son insuficientes, por lo que una ampliación de los mismos podría conducir a un mejor conocimiento de este sistema de prevención que permitiera la redacción de una relación de Recomendaciones para el avance de guías con peligro de derrabes o D.I.

10 - CONCLUSIONES

10- CONCLUSIONES

Puesto que la red capilar del macizo de carbón es única, parece generalmente aceptado que el agua libre inyectada disminuye la velocidad inicial de desorción del CH_4 y contenido, efecto constatado por una disminución de V_1

Es por tanto una acción favorable en un carbón con posibles efectos gaseodinámicos y disminuye la potencia disponible para un transporte (movimiento) neumático del macizo de carbón.

Por otra parte, adecuadamente efectuada, favorece, en general, la distensión del macizo por delante del frente, aliviando la parte dinámica de la causa gaseodinámica, generalmente admitida como desencadenante del derrabe estricto del macizo del carbón.

Ahora bien, hundimientos del macizo de carbón en los frentes de arranque, consecuencia de deslizamiento y/o roturas del techo o del muro, en el lenguaje coloquial minero pueden ser denominados también derrabes (podríamos decir derrabe no estricto) y en el caso de hastiales falsos, es decir con muy baja competencia geomecánica, la inyección de agua especialmente a altas

presiones podría desencadenar la rotura de los mismos simultánea o sucesivamente al proceso de inyección de agua, por lo que deben adoptarse las precauciones anteriormente indicadas o prescindir de la inyección en aquellos casos excepcionales.

Hay coincidencias tanto en Asturias como en yacimientos similares extranjeros (principalmente en la Unión Soviética) en que la relación entre la humedad "in situ" y la saturada medida en laboratorio (higroscópica) es en general inversamente proporcional al estado tensional.

Pudiendo definirse un coeficiente

$$F = \frac{H_s \text{ (Humedad "in situ")}}{H_{LAB} \text{ (Humedad higroscópica)}}$$

Y existen indicios de que cuando este coeficiente toma valores inferiores a 0,3, la zona puede ser potencialmente peligrosa en cuanto a posibles producciones de golpes de roca, generalmente de techo pero en capas muy verticales incluso de muro y ello en relación con la característica geomecánica de dichos hastiales.

Existen también apreciaciones aquí y allí, de que cuando la humedad natural es aumentada en valores

del orden del 3 al 4 por ciento en volumen, se nota un cambio sustancial en la calificación de peligrosidad frente a desprendimientos del macizo de carbón.

Podría citarse que en capas de carbón cuya facilidad para el derrabe aconsejó hace mucho cambiar la explotación por testeros a explotación por frente invertido (por ejemplo las capas 11 de S. Nicolás y Montsacro zona Este), cuando se arrancaba la calle de frente por martillo picador, los picadores impulsaban una gran tendencia a que el frente estuviera "no muy tumbado" para ayudarse del "derrabe controlado" y sin apenas peligro en el arranque de carbón, pues bien, cuando se instalaron pulverizadores de agua para luchar contra el polvo en suspensión, dicha agua acababa impregnando el macizo, dada la geometría de explotación por efectos de gravedad y capilaridad, y este simple efecto disminuía la "derrababilidad controlada" y por tanto su ayuda al arranque de carbón, hecho corroborado por los mandos, con lo que el picador disminuía la longitud del frente arrancado en su turno. En esta misma capa, cuando la guía de cabeza conducía aguas procedentes de minados antiguos, impregnaba por gravedad y capilaridad el tramo superior del taller más próximo a dicha galería de 15 a 20 metros.

Esta impregnación también disminuía la "derrababilidad controlada" especialmente en este tramo, por

lo que aumentaba la dificultad de arranque, que comprobada por los mandos del taller, rebajaba la tarea de arranque exigida al picador correspondiente.

Existen apreciaciones y coincidencias múltiples, pero no hay base concreta para manejar parámetros objetivos.

Unos ensayos en capas de carbón diferentes, tendentes a comprobar la relación entre la inyección en vena con sus distintos parámetros y la prevención de derrabes, por supuesto sin perder el efecto preventivo de lucha contra el polvo, permitirán objetivar y concretar factores y parámetros, que pudieran servir para redactar unas Recomendaciones de ejecución.

Incluimos a continuación el Anexo sobre un Ensayo de inyección en vena en la capa Novena Este - 7^a a 5^a P, del Pozo Montsacro de HUNOSA para obtener valores concretos de los parámetros y comprobar que no sería difícil, ni complicaría de modo inadmisibile la normal explotación de las capas, en el caso de acometer una campaña de Ensayos suficientemente extensa.

A N E X O

*ENSAYO DE INYECCION EN VENA EN LA CAPA NOVENA.
POZO MONSTSACRO.*

En el mes de Agosto se comentó con el Director Facultativo del Pozo Montsacro de Hunosa D. Alberto Sanz Villota, vaya aquí nuestro agradecimiento, nuestra indagación sobre la relación que puede tener la inyección de agua en la capa de carbón y la prevención de derrabes del macizo de carbón en sentido estricto.

En este Pozo la inyección de agua, como medio de lucha contra el polvo, viene dando resultados muy satisfactorios, en cuanto a la atmósfera pulvígena.

Por esta razón propusimos la elección de un taller muy común, es decir, que no tuviera especial propensión a derrabes pero sin poder afirmar que el peligro de derrabe no existiera.

Se trataba de hacer un seguimiento de la inyección de agua utilizada solamente como medida de prevención del polvo y obtener valores concretos de ciertos parámetros, además de la opinión de los mandos del Pozo al respecto.

La circunstancia de los meses de vacaciones en

que los talleres tienen una saturación de picadores anormalmente baja, encontrándose algunos en situación de parada y conservación, aconsejó posponer el seguimiento a un mes más normal por lo que se realizó entre los meses de Septiembre y Octubre.

Se eligió el taller sobre capa Novena entre las Plantas 7ª y 5ª, cuyo croquis se adjunta, con una pendiente media del orden de 70 grados sexagesimales y en un tramo de su corrida en el que presenta potencias entre 1,85 metros y 2,35 metros, estimándose una potencia media para el tramo ensayado de 2,11 metros, con una altura sobre capa de 105 metros. La caja de la capa presenta una intercalación de tierra, en una vena intermedia de "fusca" o "pastión", bastante dura, con una potencia que oscila entre 0,10 y 0,25 metros, situada sensiblemente en la mitad de la "caja" o potencia total de la capa.

Al muro y al techo, es decir, a ambos lados de la vena de tierra intercalada, presenta dos venas de carbón de baja dureza de picar, si bien es algo más dura la vena del muro.

Es una capa que debe ser explotada con niveladuras inclinadas, descendentes, dada la baja competencia geomecánica del macizo carbón, tierra, carbón, que forman su potencia total, que por otra parte puede

considerarse una alta potencia y debe ser posteada con especial cuidado en los frenos de las niveladuras. Es decir, una capa con posibles derrabes de carbón en su "caja" o potencia entre hastiales, es decir, "derrabable en sentido estricto".

Los hastiales son de pizarra de una competencia geomecánica buena, pizarra fuerte, aunque el posteo es de "chulana", es decir, con bastidor tanto al techo como al muro, la altura de cada serie es de 5 metros.



GUIA 9 ADTE. 5 PLANTA

CROQUIS DE EXPLOTACION TALLER 9° ESTE DE 7° P A 5° P

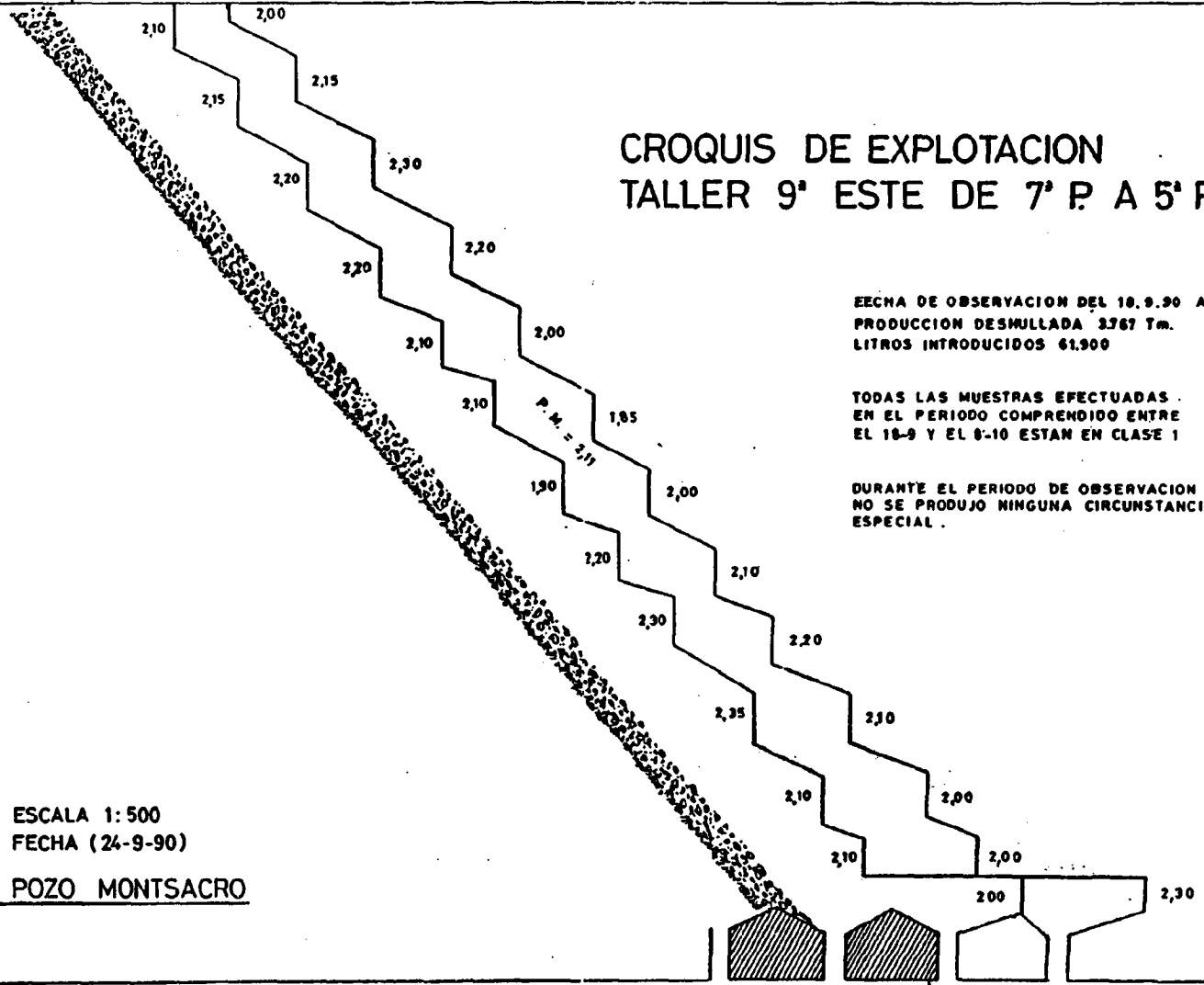
FECHA DE OBSERVACION DEL 10.9.90 AL 0.10.90
PRODUCCION DESMULLADA 3767 Tm.
LITROS INTRODUCIDOS 61.900

TODAS LAS MUESTRAS EFECTUADAS
EN EL PERIODO COMPRENDIDO ENTRE
EL 10-9 Y EL 0-10 ESTAN EN CLASE 1

DURANTE EL PERIODO DE OBSERVACION
NO SE PRODUJO NINGUNA CIRCUNSTANCIA
ESPECIAL.

ESCALA 1: 500
FECHA (24-9-90)
POZO MONTSACRO

ESTERIL 9 ADTE 7° PLANTA



Se hizo especial hincapié por parte de la cadena de mandos del Pozo Montsacro, que se continuará realizando la inyección como normalmente se inyectaba, es decir, procedimiento a media profundidad multicánula, con taladros de 3 m de longitud y dos cánulas de 2 metros de longitud por serie paralelas a la niveladura, una a la vena del muro a 1,5 metros de la niveladura y otra a la vena del techo aproximadamente a 1 metro de la misma.

Queda por tanto una cámara de inyección de 1 metro aproximadamente obteniéndose buena impregnación.

La presión de la manguera general del taller oscila entre unos 10 Kg/cm² en su borde superior, ya que está conectada a la red general de agua de 5ª Planta y 15/18 Kg/cm² en el borde inferior del taller.

La inyección es simultánea al arranque aunque en la operación de picar avanzando la serie, alguna cánula debe ser retirada por el picador.

En algún tramo de la corrida de la capa a veces es preciso elevar la presión de la manguera general para poder "iniciar" la introducción del agua, acoplando una bomba en cabeza, es decir, en la guía de 5ª Planta, siendo necesario elevar la presión en el borde superior hasta un máximo de 25/30 Kg/cm².

En los tramos normales la simple presión de la red de agua con cánula Petrometalic ordinaria, consigue caudales de 1,5 a 2 litros/minuto, que se aproximan a los bajos caudales deseables para obtener una buena impregnación, es decir, un porcentaje de volumen de agua respecto a volumen de macizo que se encuentre entre 2 y 4%, valores en general eficaces desde el punto de vista de prevención de ambiente pulvígeno.

En el ensayo realizado entre el 18-9-90 y 8-10-90, se utilizaron caudalímetros nuevos, y aún así revisados en cuanto a su exactitud que se puede calificar como buena. Se midieron 61.900 litros introducidos en un macizo cuyo volumen resultó de 2.510 m³.

Por lo tanto el porcentaje en volumen del agua introducida respecto al macizo resultó:

$$\frac{61.900}{2.510.000} \times 100 = 2,465$$

Durante el período se tomaron muestras repetidas para calificar el ambiente pulvígeno y todas resultaron clase 1.

Durante el período de observación no se produjo

ninguna circunstancia especial.

Los resultados del ensayo quedan comprendidos entre los valores normales y satisfactorios desde el punto de vista de prevención del polvo.

De tratarse de un tramo propenso claramente al derrabe podría elevarse fácilmente el porcentaje de impregnación desde el valor 2,46%, ya cumplido del objetivo de prevención de polvo, hasta valores de 3 a 4% que hasta aquí parecen generalmente aceptados como positivos para prevención.

Sin embargo, la variedad de capas posibles, es decir, la gama de situaciones "gaseo-dinámicas" es muy amplia y un Ensayo más generalizado y siempre cuantitativo, podría aumentar nuestro conocimiento del valor de la inyección de agua como uno de los procedimientos preventivos de los derrabes de carbón en capa, con cuyo conocimiento se podría elaborar un conjunto de Recomendaciones a emplear en la explotación de capas con posibles derrabes.