



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

INFORME FINAL

PREVISION DEL DESPRENDIMIENTO
DE GRISU EN EXPLOTACIONES DE
CAPAS VERTICALES CON SUTIRAJE

MEMORIA

NOVIEMBRE, 1992



MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO



**PREVISION DEL DESPRENDIMIENTO
DE GRISU EN EXPLOTACIONES DE
DE CAPAS VERTICALES CON SUTIRAJE**

Proyecto de investigación financiado por el Instituto Tecnológico GeoMinero de España (ITGE), la Asociación Gestora para la Investigación y Desarrollo Tecnológico del Carbón (OCICARBON) y la Comunidad Europea del Carbón y del Acero (CECA).

Realizado por el Area de Riesgos Industriales de la Asociación de Investigación Tecnológica de Equipos Mineros (AITEMIN), con la colaboración de la Empresa Nacional Hulleras del Norte S.A. (HUNOSA).

AITEMIN desea agradecer la colaboración prestada a:

- Personal del Pozo Montsacro (HUNOSA).
- Cátedra de Mecánica de Rocas. E.T.S.I. Minas (Madrid).
- Cátedra de Resistencia de Materiales. E.T.S.I. Minas (Oviedo).

1.	INTRODUCCION	1
2.	OBJETIVOS	2
3.	DESCRIPCION DEL METODO DE EXPLOTACION POR SUBNIVELES HORIZONTALES	3
4.	DESPRENDIMIENTO DEL GRISU	8
4.1	Parámetros	8
4.1.1	Concentración de grisú en el carbón	8
4.1.2	Contenido de grisú en la ventilación	11
4.1.3	Velocidad del aire	11
4.1.4	Area de las secciones de las estaciones de aforo	12
4.1.5	Cenizas y producción	13
4.2	Desprendimiento específico	14
4.3	El coeficiente de irregularidad.	15
4.4	Balance de grisú	16
5.	VOLUMEN DE INFLUENCIA	17
5.1	Concentración de grisú. Grado de desgasificación	17
5.2	Módulo presiométrico	17
5.3	Convergencias	18
5.4	Variación de tensiones	18
6.	DESCRIPCION DE LA CAPA ESTUDIADA	20
7.	DESCRIPCION DE LAS EXPLOTACIONES	22
7.1	Primer Recorte	22
7.2	Cuarto Recorte	22
8.	MEDICIONES REALIZADAS	23
8.1	Desprendimiento de grisú	23
8.1.1	Concentración de gas en capa	23
8.1.2	Concentración de gas residual	24
8.1.3	Concentración de grisú en el carbón transportado	24
8.1.4	Contenido de grisú en la ventilación y velocidad del aire	25
8.1.5	Area de las secciones de las estaciones de aforo	25
8.1.6	Cenizas y producción	25
8.2	Volumen de influencia	26
8.2.1	Grado de desgasificación	26
8.2.2	Módulo presiométrico	26
8.2.3	Convergencias	27
8.2.4	Variación de tensiones	27
9.	RESULTADOS OBTENIDOS	29

9.1	Desprendimiento de grisú	29
9.2	Volumen de influencia	32
9.2.1	Grado de desgasificación de la llave de carbón	32
9.2.2	Medidas de presiometría	35
9.2.3	Convergencias	37
9.2.4	Variación de tensiones	38
10.	ANALISIS DE LOS RESULTADOS	40
10.1	Fase de avance del subnivel	40
10.1.1	Curva de desgasificación	40
10.1.2	Zona de influencia	43
10.1.3	Curva de desgasificación de hastiales	44
10.2	Fase de sutiraje	45
10.2.1	Zona de influencia	45
10.2.2	Curva de desgasificación de hastiales	47
11.	OBTENCION DE LOS MODELOS DE PREVISION DEL DESPRENDIMIENTO	50
11.1	Hipótesis para la obtención del modelo	50
11.2	Modelo de desprendimiento en avance	50
11.3	Modelo de desprendimiento en sutiraje	54
12.	CONCLUSIONES	57

ANEXOS

- ANEXO 1: TEORIA MEDICION DE LA CONCENTRACION DE GRISU EN CAPA
- ANEXO 2: METODOLOGIA PARA LA REALIZACION DE ENSAYOS PRESIOMETRICOS
- ANEXO 3: METODOLOGIA PARA LA MEDICION CON CAPSULAS PRESIOMETRICAS
- ANEXO 4: SITUACION DE LA EXPLOTACION
- ANEXO 5: ESTRATIFICACION
- ANEXO 6: PLANOS DE EXPLOTACION
- ANEXO 7: CONCENTRACION DE GRISU EN CAPA EN EL AVANCE DEL 5° SUBNIVEL
- ANEXO 8: CONCENTRACION DE GRISU EN LA LLAVE DE CARBON EN EL 5° SUBNIVEL
- ANEXO 9: METODOLOGIA Y RESULTADOS DEL C_{1bar} . ISOTERMAS
- ANEXO 10: CONCENTRACION DE GRISU EN CAPA EN EL INICIO DEL SUBNIVEL CERO Y EN LA LLAVE DE CARBON
- ANEXO 11: CONCENTRACION DE GRISU EN EL CARBON TRANSPORTADO EN EL 5° SUBNIVEL EN EL AVANCE Y EN EL SUTIRAJE
- ANEXO 12: CONCENTRACION DE GRISU EN EL CARBON TRANSPORTADO EN EL SUBNIVEL CERO DURANTE EL SUTIRAJE
- ANEXO 13: MEDICIONES DE VELOCIDAD DE AIRE Y DE CH_4 , REGISTROS
- ANEXO 14: MEDIDAS DE SECCION CON EL PROFILER-2000
- ANEXO 15: CONTENIDO EN CENIZAS DEL TODO-UNO
- ANEXO 16: DESPRENDIMIENTO ESPECIFICO EN EL AVANCE DEL 5° SUBNIVEL
- ANEXO 17: COEFICIENTE DE IRREGULARIDAD EN EL AVANCE DEL 5° SUBNIVEL
- ANEXO 18: BALANCE DE GRISU EN EL AVANCE DEL 5° SUBNIVEL

- ANEXO 19: DESPRENDIMIENTO ESPECIFICO, COEFICIENTE DE IRREGULARIDAD Y BALANCE DE GRISU EN EL SUTIRAJE DEL 5° SUBNIVEL**
- ANEXO 20: DESPRENDIMIENTO ESPECIFICO, COEFICIENTE DE IRREGULARIDAD Y BALANCE DE GRISU EN EL SUTIRAJE DEL SUBNIVEL CERO**
- ANEXO 21: CONCENTRACION DE GRISU EN LA ZONA INFLUENCIADA: CARBONEROS Y CAPA NUEVE**
- ANEXO 22: MEDICIONES DE PRESIOMETRIA EN EL 5° SUBNIVEL**
- ANEXO 23: MEDICIONES DE PRESIOMETRIA EN EL SUBNIVEL CERO**
- ANEXO 24: MEDIDAS DE CONVERGENCIA**
- ANEXO 25: CURVAS DE LAS CAPSULAS PRESIOMETRICAS EN EL 5° SUBNIVEL**
- ANEXO 26: CURVAS DE LAS CAPSULAS PRESIOMETRICAS EN EL SUBNIVEL CERO**
- ANEXO 27: REGISTROS DE CH₄ Y VELOCIDAD DEL AIRE AL INICIO DEL SUTIRAJE DEL 5° SUBNIVEL**
- ANEXO 28: CALCULO DE LA CONSTANTE K PARA EL MODELO DE DESPRENDIMIENTO**
- ANEXO 29: CALCULOS PARA LA OBTENCION DEL MODELO DE DESPRENDIMIENTO EN LA APERTURA DEL SUBNIVEL**
- ANEXO 30: CALCULOS PARA LA OBTENCION DEL MODELO DE DESPRENDIMIENTO EN EL SUTIRAJE DEL SUBNIVEL**

1. INTRODUCCION

La aplicación en España del método de explotación por sutiraje en subniveles horizontales, a las capas de carbón inclinadas y con irregularidades, ha demostrado claras ventajas frente a los métodos de explotación alternativos como testers y rampones. Cuando la regularidad de la capa, tanto en potencia como en buzamiento y rumbo se ajusta a las necesidades del método, es evidente que los rendimientos que se consiguen son francamente mejores, permitiendo incluso la mecanización de buena parte de los trabajos y disminuyendo apreciablemente los costos de explotación.

Otra ventaja adicional, sobre todo frente al método de testers en las capas potentes con problemas de derrabes o con hastiales falsos, es la mejora de la seguridad y de las condiciones de trabajo en los frentes, eliminando el problema de los derrabes al realizar las labores en capa prácticamente en horizontal.

No obstante y a pesar de los inconvenientes del método (talleres de arranque con producción muy concentrada en fondos de saco de longitud apreciable y con hundimiento de macizos de carbón mediante el empleo de explosivos) que en capas grisáceas pueden dar lugar a acumulaciones de gas, desde un punto de vista técnico, es evidente que los riesgos en tales labores están siendo disminuidos continuamente mediante la mejora de los métodos y procedimientos de trabajo aplicados y el control de las explotaciones en distintos aspectos (control ambiental, geomecánica, mecanización del sostenimiento, del arranque y la carga, etc.). Dentro de este contexto, el hecho de poder estimar el desprendimiento de gas que se va a producir hacia la labor durante el laboreo, en función de una serie de parámetros conocidos o fácilmente calculables, supone una gran ayuda para dimensionar la geometría de la explotación, longitud del subnivel y altura de llave, la ventilación de la labor y las condiciones de trabajo.

2. OBJETIVOS

En el presente trabajo, se ha elaborado un modelo de previsión del desprendimiento de grisú en la explotación de capas de carbón potentes y verticales por el método de subniveles con sutiraje. El modelo permite estimar el volumen de grisú que se desprenderá hacia la labor, tanto el procedente de la capa explotada como el de las capas y carboneros adyacentes, en función de unos parámetros fáciles de determinar.

El grisú proveniente de la capa explotada se ha determinado en base a la medición de la concentración de grisú en capa, y el gas de las capas y carboneros adyacentes se ha determinado mediante los balances de gas, en los que las fuentes de aporte son la capa explotada y las capas y carboneros adyacentes, y las salidas, el carbón transportado, la corriente de ventilación y las fugas por hundimiento. En estos balances, las incógnitas son siempre el gas procedente de las capas y los carboneros adyacentes y las fugas hacia el hundimiento.

Para poder conocer las capas y carboneros adyacentes que desgasifican hacia la labor, se ha determinado el volumen de influencia de la explotación, tanto en la fase de avance como en la de sutiraje. Asimismo, se ha estimado el grado de desgasificación en función de la distancia a la capa explotada.

En relación a las fugas de gas hacia el hundimiento, de difícil determinación mediante mediciones directas, se ha comprobado que representan un porcentaje despreciable con relación al resto de las vías de salida del gas.

El trabajo se ha llevado a cabo durante un ciclo completo de explotación de un subnivel (avance y sutiraje), en la capa 8ª del Pozo Montsacro de la empresa HUNOSA.

3. DESCRIPCION DEL METODO DE EXPLOTACION POR SUBNIVELES HORIZONTALES

El método de explotación por subniveles horizontales se está aplicando en la minería española del carbón a las capas potentes ($> 2,5$ m) y verticales ($> 60^\circ$) con rendimientos muy superiores a los obtenidos anteriormente aplicando el método de testers.

En esencia, el método consiste en dividir la corrida de carbón a explotar en paneles definidos geoméricamente por la longitud de los subniveles en fondo de saco, la altura total y la altura entre niveles (fig. 1).

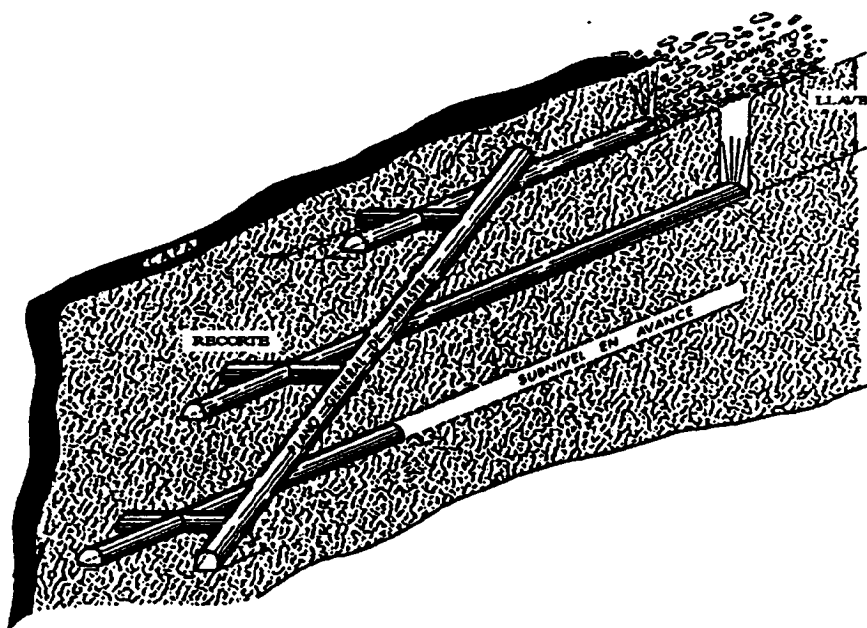


Figura 1

Como se observa en la figura 2, el acceso al panel a explotar se realiza desde las galerías generales de las plantas, mediante recortes a muro de la capa. A una cierta distancia de la capa (15-20 m, en el caso de Montsacro) se unen los recortes a nivel de plantas mediante un pozo de apoyo, en roca, con una inclinación de unos 40° , desde el que se dan los recortes a los subniveles intermedios correspondientes y que durante la fase de explotación sirve para la evacuación del carbón, la aproximación

de la ventilación principal y la asistencia de materiales a los subniveles en explotación.

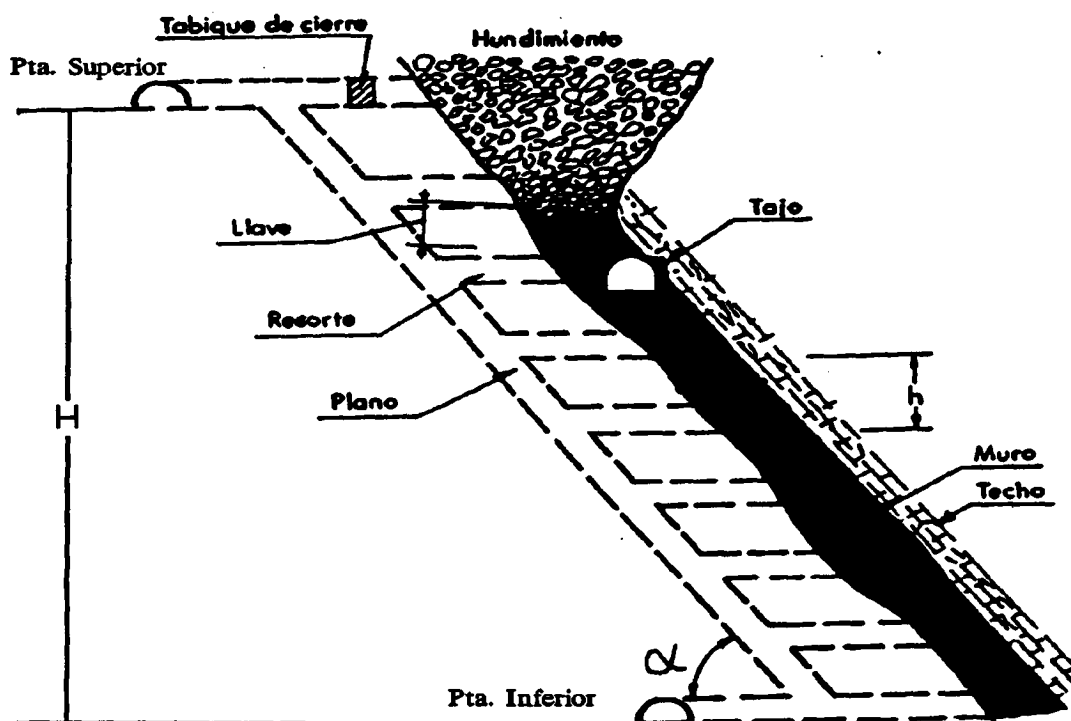


Figura 2

Se trata, por tanto, de talleres de arranque de carbón en fondo de saco, con ventilación secundaria, con empleo de explosivos para el hundimiento de la llave de carbón entre subniveles.

En el caso del Pozo Montsacro, tanto el plano inclinado como los recortes-contrataques se abren a una sección 2 UA (unos 9 m²). Una vez cortada la capa, se avanzan los subniveles en carbón tanto a la derecha como a la izquierda del recorte (en nuestro caso, se denominan, adelante y atrás, respectivamente).

El avance de los subniveles se realiza con martillo picador y disparando los hastiales, (se tiene que arrancar una pequeña porción de muro, debido a que la potencia de la

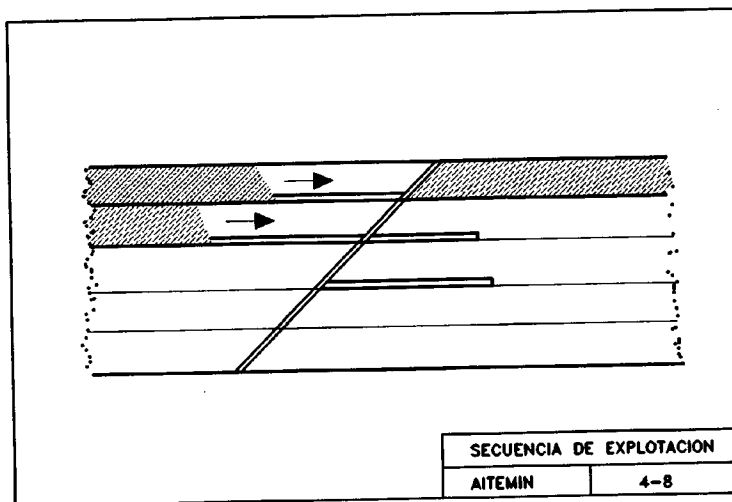
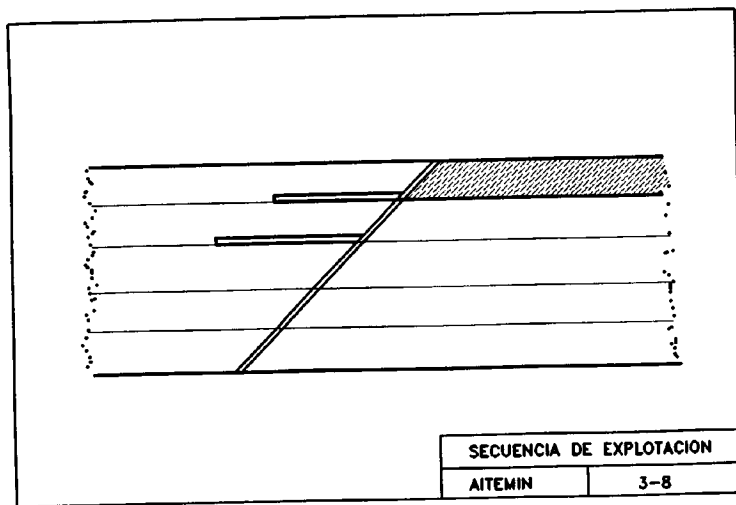
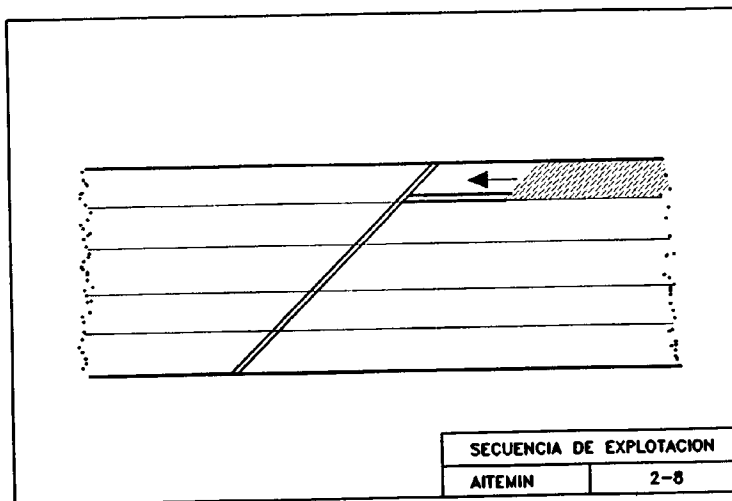
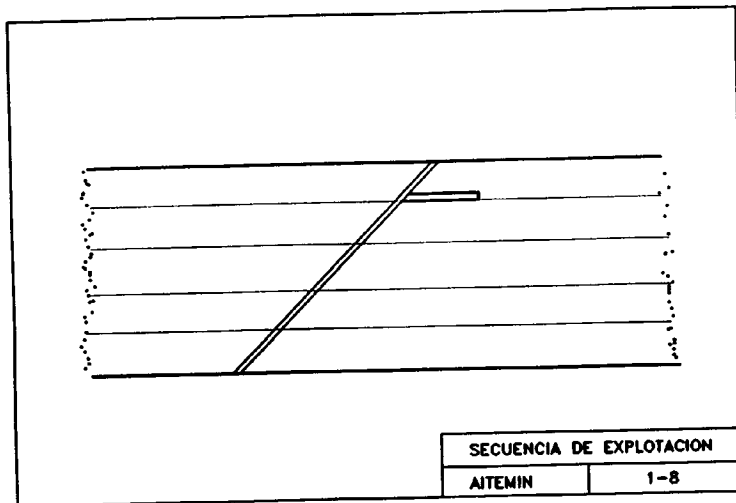
capa es menor que la anchura de la sección abierta). La sección de apertura es la correspondiente al cuadro de perfil THN de sección 2UA (unos 9 m²), con un avance por relevo de 1,1 m y dos relevos diarios.

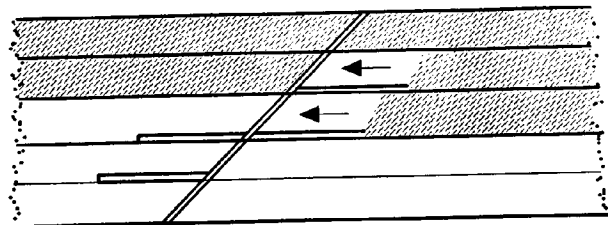
Debido a la tendencia al derrabe del carbón, el avance se realiza empiquetando densamente la corona, al mismo tiempo que se cuadra a martillo, dejando un repie. El arrastre del carbón desde el frente hasta el panzer se realiza con scraper.

Seguidamente, se barrenan dos tiros de unos 3 metros en el carbón para colocar la inyección de agua a baja presión, así como los tiros necesarios para arrancar la porción de muro incluido en la sección del subnivel.

Una vez concluida la apertura del subnivel, se procede a la explotación en retirada, sutirando el carbón de la llave (altura de carbón entre dos subniveles consecutivos).

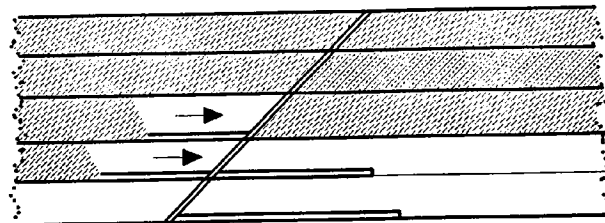
Los tiros de hundimiento se dan con cuatro barrenos perforados lo más cerca posible del muro. La longitud de los barrenos varía según la altura de la llave de carbón; para una llave de unos 22 metros, la longitud del barreno es de 9 metros, aproximadamente. La secuencia de explotación del panel se muestra en las figuras de las páginas siguientes.





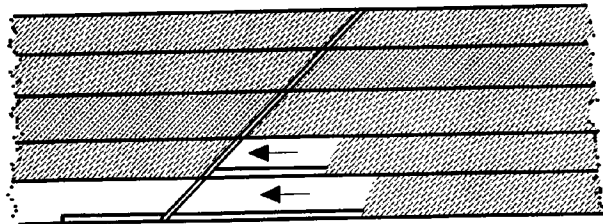
SECUENCIA DE EXPLOTACION

AITEMIN	5-8
---------	-----



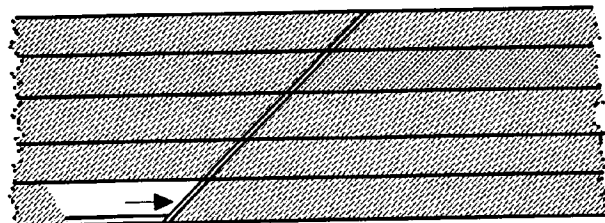
SECUENCIA DE EXPLOTACION

AITEMIN	6-8
---------	-----



SECUENCIA DE EXPLOTACION

AITEMIN	7-8
---------	-----



SECUENCIA DE EXPLOTACION

AITEMIN	8-8
---------	-----

4. DESPRENDIMIENTO DEL GRISÚ

Como se sabe, la apertura de un hueco minero provoca una fuerte perturbación del estado tensional de equilibrio del macizo rocoso, originando una zona influenciada alrededor del mismo. En esta zona, se distinguen una zona distendida que rodea el hueco y una zona de sobrepresiones que rodea la anterior.

Las capas de carbón situadas en la zona distendida pueden desgasificar parcialmente, migrando parte del grisú que contienen hacia la labor minera. Este flujo de grisú del carbón que fluye hacia el hueco minero se analiza por los valores siguientes:

- Desprendimiento específico.
- Coeficiente de irregularidad
- Balance de grisú.

Para la obtención de estos valores, es necesario determinar los valores de los parámetros que se relacionan en el siguiente apartado.

4.1 Parámetros

4.1.1 Concentración de grisú en el carbón

La concentración de grisú en el carbón es el volumen m^3 de grisú contenido por tp (tonelada pura) de carbón.

Para realizar los balances de grisú, es necesario conocer los valores de la concentración de grisú del carbón en la capa antes de ser influenciada por la explotación, la concentración de gas residual o concentración de grisú que contiene el carbón en el frente en el momento de ser arrancado y, por último, la concentración de grisú en el carbón transportado.

La concentración de grisú en capa se determina a partir de las muestras de carbón que se obtienen mediante sondeos al frente y a la llave de carbón y tomadas a distintas profundidades. La metodología de medición se incluye en el anexo 1.

El valor de la concentración de grisú en capa, que llamaremos C_m (concentración de AITEMIN), se obtiene de la gráfica concentración total–profundidad del sondeo, en el tramo horizontal de la curva.

Hay que tener en cuenta que el valor C_m se obtiene después de una molienda en atmósfera de aire, con lo cual se mide un valor intermedio entre la concentración total C_T y la concentración desorbible C_D , que es la concentración que se obtendría si la molienda se realizara en atmósfera de metano.

Las concentraciones C_T y C_D están relacionadas por la expresión:

$$C_T = C_D + C_{1\text{ bar}}$$

siendo:

$C_{1\text{ bar}}$ la concentración de grisú contenido en el carbón para una presión del gas de 1 bar.

Las concentraciones C_T y C_D están relacionadas con C_m mediante las expresiones siguientes:

$$C_T = C_m + C_{1\text{ bar}} \left(1 - e^{\frac{-Q_3}{V_0}} \right)$$

$$C_D = C_m - C_{1\text{ bar}} e^{\frac{-Q_3}{V_0}}$$

siendo:

Q_3 el volumen de grisú desprendido durante la molienda de la muestra analizada.

$$V_0 = 60,8 - \frac{m'}{1,03 + 0,01527C}$$

Siendo:

V_0 el volumen libre del cubilete del molino

m' el peso de la muestra de carbón

C el contenido en cenizas de la muestra en %.

Llamamos concentración de gas residual a la concentración de grisú que contiene el carbón en el frente en el momento de ser arrancado. En condiciones normales de explotación, sin paradas prolongadas, se considera que del carbón sólo llega a desprenderse un volumen de grisú por tonelada pura igual a la concentración desorbible, permaneciendo la fracción $C_{1\text{ bar}}$ en el carbón. Por tanto, en estas condiciones, la concentración de gas residual es aproximadamente igual a $C_{1\text{ bar}}$ en el carbón de la llave durante la fase de avance del subnivel, mientras que la concentración residual en el frente es algo superior, estando comprendida entre la concentración inicial y el $C_{1\text{ bar}}$.

Para determinarla, se recogieron muestras de aproximadamente 10 gr de carbón del frente del subnivel para posteriormente analizarlas de la misma forma que las muestras recogidas para la concentración de grisú en capa.

El valor obtenido de la concentración de grisú residual es necesario para obtener el balance de grisú, ya que se necesita conocer la cantidad de grisú que proviene del carbón hasta que éste es arrancado.

La concentración de grisú en el carbón transportado es el volumen m^3 de gas por tp (tonelada pura) de carbón que abandona la labor en el transportador.

En este tipo de explotación por subniveles y sutiraje, la concentración residual y en el transporte es prácticamente la misma, ya que el carbón nada más ser arrancado cae

en el panzer y es transportado por este fuera de la explotación.

Para el cálculo de esta concentración, se procede de la misma forma que para la obtención de la concentración residual, con la única diferencia de que las muestras se recogen en el panzer y no en el frente.

4.1.2 Contenido de grisú en la ventilación

Otro parámetro necesario para el cálculo del desprendimiento y para la obtención del balance de gas, es el volumen de grisú que sale de la explotación con la ventilación.

Para su determinación es necesario medir el contenido de grisú en el aire entrante y en el que sale de la explotación.

El porcentaje de grisú en el aire del subnivel se midió colocando dos metanómetros con registro continuo sobre papel, BM1 y MM1, el primero, para concentraciones entre el 0 y 3% y el segundo, para concentraciones entre el 0 y el 50%. Tanto el BM1 como el MM1 son alimentados por baterías, cuya autonomía es de una semana. Los registros recogidos se dividen en 24 horas para su posterior estudio.

En los subniveles donde se ha realizado el estudio, el aire que entraba era limpio, por lo que la colocación de estos dos aparatos al principio de los subniveles era suficiente para conocer el grisú desprendido del carbón arrastrado por la ventilación.

4.1.3 Velocidad del aire

La medición de la velocidad del aire se realizó con un anemómetro de registro continuo, BA5, colocado en la misma estación que los metanómetros, es decir en la entrada del subnivel. Este aparato es alimentado por baterías igual que el BM1 y MM1.

El BA5 registra la velocidad V del aire en un punto de la sección. Para conocer la velocidad media del aire, $\bar{V}$, se realizan periódicamente medidas con equipos portátiles en distintos puntos de la sección. De esta forma, se determina una constante K que relaciona la velocidad medida por el equipo de registro continuo con la velocidad media del aire:

$$\bar{V} = K \cdot V$$

El registro continuo se divide en tramos de 24 horas para relacionarlo con los registros obtenidos del contenido de grisú y obtener, de esta forma, el volumen de gas que abandona la labor con la corriente de ventilación.

4.1.4 Area de las secciones de las estaciones de aforo

El conocimiento del área de la sección en la que está instalada la estación de anemometría es necesario para calcular efectivamente el caudal de aire que circula por la labor.

Se han realizado mediciones periódicas con cinta métrica, midiendo la parte más ancha y la altura del cuadro, donde se colocaron los sensores de velocidad del aire y contenido de grisú. Para hallar la sección efectiva de paso del aire, al producto de la altura por el ancho de la galería se le multiplica por una constante K_1 igual a 0,83, que es la relación entre el área de la galería y la de un rectángulo de lados iguales a la anchura y altura de la misma cuando los cuadros del sostenimiento están sin deformar y restando el valor de la sección de la tubería de ventilación:

$$S = (a \times b \times K_1) - \pi d^2/4$$

siendo:

- a: la altura de la sección galería
- b: la anchura de la galería
- d : diámetro de la tubería de ventilación

Según se deforman los cuadros, la constante K_1 varía. Para calcularla y conocer el área de la sección de paso del aire de una forma mucho más precisa, se han realizado perfiles con el distanciómetro Profiler 2000.

Una vez obtenido con el Profiler 2000 el perfil de la sección a escala y su área, se mide sobre el dibujo correspondiente la anchura y la altura de la sección y, conociendo el área, se halla fácilmente la constante K_1 .

4.1.5 Cenizas y producción

La toma de las muestras para la determinación de las cenizas del todo-uno de la producción en las fases de avance y sutiraje, se realizó tomando muestras del carbón transportado por el panzer en cada período de estudio, en sacos de unos 40 kg.

Después de observar durante varias semanas la variación de la calidad del carbón transportado, se tomaron muestras cuando la carga del panzer tenía contenidos en cenizas alto, medio y bajo, en función de la cantidad variable de estéril que se mezcla con el carbón en las distintas fases de la explotación.

La producción en la fase de avance se ha obtenido cubicando el carbón arrancado en el período de tiempo del estudio del desprendimiento, considerando la densidad del carbón igual a 2 t/m^3 , para unas cenizas medias del 60%. Durante la fase de sutiraje, la producción se evaluó a partir del número de vagones cargados, teniendo en cuenta su grado de limpieza antes de ser cargados y su grado de llenado.

El cálculo de todos los valores anteriormente descritos nos permiten obtener el desprendimiento específico, el coeficiente de irregularidad y el balance de grisú.

4.2 Desprendimiento específico.

Se define como la cantidad de grisú que se desprende en una labor minera por tonelada de carbón arrancada en dicha labor.

El desprendimiento específico, S , se calcula evaluando el volumen de grisú desprendido en una labor en un período de tiempo dado a partir de los caudales de grisú y la producción de la labor en dicho período.

El desprendimiento específico S , en m^3/tp , es;

$$S = \frac{\bar{Q}_g \cdot t}{1000 \cdot P \left(1 - \frac{C_e}{100}\right)} \left(\frac{m^3}{t_p}\right)$$

siendo:

$\bar{Q}_g$ el caudal medio de grisú (m^3/s).

$$\bar{Q}_g = \frac{\bar{S} \cdot \bar{V} \cdot C_g}{100} \left(\frac{m^3}{s}\right) = 10 \cdot \bar{S} \cdot \bar{V} \cdot C_g \cdot \left(\frac{l}{s}\right)$$

donde:

$\bar{S}$ la sección media (m²)

$\bar{V}$ la velocidad media (m/s)

C_g el porcentaje medio de grisú

t el tiempo de duración del registro (s).

P la producción de la labor, durante el período de tiempo en estudio (t).

C_c el contenido en cenizas del todo-uno explotado durante el período del registro (%).

4.3 El coeficiente de irregularidad.

Ya que el desprendimiento de grisú no es completamente uniforme en el tiempo y con el fin de cuantificar la irregularidad del mismo, se introdujo el coeficiente de irregularidad "i", definido por:

$$i = \frac{T_{Ms}}{T_M}$$

donde :

T_{Ms} es el valor más alto de los porcentajes máximos de grisú en el ambiente (valores de pico de los registros), una vez eliminados los picos de causas conocidas (paradas de ventilación, etc.) y el 5% de los valores de pico.

T_M es la media de los porcentajes medios de grisú diarios.

Este coeficiente sólo es significativo si se determina para un período largo de mediciones y en condiciones estables de explotación y ventilación. Cuanto más se aproxime el valor de i a la unidad, más uniforme será el desprendimiento.

4.4 Balance de grisú

El balance de grisú se expresa de la siguiente forma:

$$G_{ca} + G_{zi} + G_{of} = G_v + G_t + G_h + G_c \text{ (m}^3/\text{día)}$$

siendo :

G_{ca} el grisú proveniente de la capa explotada.

G_{zi} el grisú proveniente de otras capas y carboneros situados en la zona de influencia de la labor.

G_{of} el grisú proveniente de otras fuentes.

G_v el grisú evacuado con la ventilación

G_t el grisú evacuado en el carbón que se transporta fuera de la labor.

G_h el grisú que se fuga a través del hundimiento y de minados hacia otras labores o hacia el exterior.

G_c el grisú captado y evacuado a través de conducciones especiales.

De todos estos términos se pueden evaluar, mediante mediciones de concentración de grisú en muestras elegidas adecuadamente, G_{ca} y G_t , mientras que para el cálculo de G_v es necesario la monitorización continua de la velocidad del aire y del porcentaje de grisú en el retorno de la ventilación de la labor.

G_c y G_{of} en nuestro estudio no existen, y se considera G_h nulo en el avance de los subniveles y prácticamente nulo en el sutiraje de los mismos, hecho que se ha constatado mediante mediciones del caudal de aire a la entrada y a la salida de la labor e intentado medir el aire que fuga por el hundido. Queda como única incógnita G_{zi} , que será :

$$G_{zi} = G_v + G_t - G_{ca}$$

5. VOLUMEN DE INFLUENCIA

En el estudio, se trató de determinar el volumen de influencia de un subnivel en su apertura y en su explotación en retirada, por cuatro vías distintas:

- a) Por la desgasificación de la llave de carbón en el avance del subnivel.
- b) Por mediciones presiométricas
- c) Por mediciones de convergencias
- d) Por mediciones de la variación de tensiones, con cápsulas presiométricas.

5.1 Concentración de grisú. Grado de desgasificación

Para poder estimar el grisú que se va a desprender de la zona de la clave y de la solera de la galería durante el avance del subnivel, es preciso conocer la curva de desgasificación del carbón. La curva de desgasificación se puede determinar midiendo la variación en el tiempo de la concentración de grisú en diferentes puntos del subnivel, siempre que se conozca el tiempo transcurrido desde que el frente de avance del subnivel pasó por ese punto.

Por otro lado, la variación de la concentración de grisú en función de la distancia al subnivel permite estimar indirectamente la zona influenciada por la apertura del mismo. En efecto, realizando sondeos largos (más de 12 m), se puede observar, que fuera de la zona influenciada, la concentración de grisú en capa se aproxima a la existente al inicio de la explotación (panel intacto).

5.2 Módulo presiométrico

Este parámetro permite estimar las propiedades elásticas del carbón. Para su determinación, se perfora un sondeo y se mide el módulo presiométrico en varios puntos (cada metro o metro y medio). La variación de este parámetro con la profundidad permite estimar la zona influenciada por las labores del propio subnivel

o de subniveles superiores.

El módulo presiométrico se mide con un equipo formado por una cánula y una bomba de presión. La cánula es de un material cuyas propiedades elásticas son parecidas a las del carbón. La bomba introduce líquido, midiéndose el volumen aportado para conseguir un aumento dado de la presión. Con los datos obtenidos, se dibuja la curva presión-volumen y, a partir de la parte lineal de dicha curva, se calcula el módulo presiométrico en el punto considerado. La metodología para la realización del ensayo se incluye en el anexo 2.

5.3 Convergencias

En el subnivel en estudio, las convergencias son un indicativo de la distancia horizontal influenciada por la explotación en su fase de sutiraje, sobre la propia capa. Para medir las convergencias se fijan una serie de estaciones de medida a lo largo del subnivel.

Como complemento a estas medidas de convergencias, se realizan perfiles que aportan una mayor información de los movimientos relativos que sufre la sección considerada.

5.4 Variación de tensiones

Este parámetro permite estimar la distancia influenciada en la dirección de la capa, desde el frente al punto donde está instalada la célula, así como la forma del volumen de influencia. Para determinar este parámetro, se utilizan células presiométricas tipo "R" compuestas de un gato plano recubierto de una resina, cuyas propiedades elásticas son muy parecidas a las del carbón. Para su instalación, se perfora un sondeo en la capa, de la longitud deseada, en el que se introduce la célula; el gato plano debe quedar perpendicular a la dirección de las tensiones que se quieren medir. Se pone en carga a una presión aproximadamente igual a la natural del terreno; para ello se hace la hipótesis de que el medio es elástico e isótropo y se estima la tensión natural

en función de la posición de la capa (profundidad e inclinación). La metodología para la instalación de estas células se incluye en el anexo 3.

6. DESCRIPCION DE LA CAPA ESTUDIADA

El Pozo Montsacro se encuentra en la localidad de Foz de Morcín, en la cuenca central asturiana.

La capa octava del pozo se ha explotado en la zona Este de la mina, desde quinta planta hasta superficie, por testeros y macizos. En la actualidad, se está explotando en esa misma zona entre las plantas quinta y séptima, por subniveles horizontales con sutiraje. Esta capa tiene una potencia de 3 a 3,5 m y un buzamiento de 70°, siendo bastante regular, en toda su corrida explotable. En la zona que se ha explotado, se ha observado que se presenta con más esterilidades hacia el Oeste que hacia el Este, llevando una vena a muro de potencia variable entre 0,2 y 0,7 m. En el anexo 4 se muestra la situación de las labores estudiadas.

A nivel de 7ª planta, los paquetes estratigráficos a techo y muro de la capa son los siguientes (ver anexo 5):

- **A techo**

El techo inmediato es una pizarra muy blanda (esquistera) en el primer metro y medio aproximadamente. A continuación aparece una arenisca dura que sólo se interrumpe por la presencia de un carbonero de unos 50 cm de potencia a unos 34 m.

- **A muro**

En el muro aparece una pizarra dura al comienzo, hasta los 4,5 m, interrumpida por un carbonero de poca potencia a unos 2,5 m. Seguidamente, aparece una arenisca dura hasta la capa novena, interrumpida a los 6 m por otro carbonero de unos 30 cm de potencia.

La capa novena se encuentra a unos 26 m y no se ha explotado en esta zona, aunque sí lo ha sido aplicando el método de testeros, hasta el límite Este del

panel de la capa octava.

En 5ª planta, las configuraciones a techo y a muro cambian muy poco con respecto a la descritas anteriormente, apareciendo a techo la capa 7ª a unos 70 m y con una potencia de 1 m aproximadamente, y a muro, un carbonero más situado en los primeros diez metros y la capa novena a unos 22 m, con una potencia de 1,5 m. Esta capa se encuentra explotada hasta el nivel de esta planta (ver anexo 4).

7. DESCRIPCION DE LAS EXPLOTACIONES

Se describe, seguidamente, la situación de las explotaciones sobre la capa 8ª al comienzo del presente estudio (ver anexo 6).

7.1 Primer Recorte

En el Primer Recorte se estaba explotando un panel de una longitud o corrida de unos 400 m aproximadamente, entre las plantas quinta y séptima, cuya diferencia de cotas es de 100 m.

Este panel tenía cinco subniveles, de los cuales los tres primeros ya estaban explotados mientras que el 4º Subnivel adelante se estaba sutirando, el 5º Subnivel atrás estaba parado y el 5º Subnivel adelante se estaba avanzando.

En esta explotación, el estudio se centró en el 5º Subnivel adelante al que nos referimos, a partir de este momento, como 5º Subnivel.

7.2 Cuarto Recorte

En esta zona de explotación de la capa 8ª, se estaba preparando un nuevo panel de explotación, habiéndose comenzado a realizar el pozo de apoyo del mismo. Asimismo, se estaba abriendo el Subnivel Cero, adelante y atrás, a nivel de quinta planta. La altura de la llave de carbón de este subnivel variaba entre 40 y 100 m.

En esta parte, el estudio se ha realizado en el Subnivel Cero adelante, al que denominaremos Subnivel Cero.

8. MEDICIONES REALIZADAS

8.1 Desprendimiento de grisú

8.1.1 Concentración de gas en capa

a. 5º Subnivel

En el avance de este subnivel, se realizaron siete sondeos al frente, de forma solapada, para obtener, con la mayor precisión posible, la concentración de grisú de la capa. Los últimos sondeos (6 y 7) se realizaron más alejados para la comprobación de la concentración medida (ver anexo 7).

En la mayor parte de los sondeos hubo problemas al intentar sobrepasar los 5 ó 6 m, ya que, a partir de esa distancia el carbón bloqueaba las barrenas, haciendo imposible continuar la perforación.

De estos sondeos se obtuvo el valor de la concentración de grisú del carbón arrancado en el avance del subnivel, el cual se utiliza para determinar el balance de grisú.

Se realizaron cuatro sondeos a la llave en diferentes puntos del subnivel para el cálculo de la concentración de grisú en la llave de carbón, valor necesario para realizar el balance de grisú en el sutiraje del subnivel (ver anexo 8).

Se dio un sondeo al muro de la capa octava hasta cortar los carboneros, para determinar su concentración de grisú. Asimismo, se realizó un sondeo en la capa novena para la obtención de la concentración de grisú en capa.

Estos últimos sondeos se realizaron para ver la posible influencia de la capa novena y los carboneros sobre el grisú desprendido en la explotación de la capa

octava.

En todos los sondeos se midió la velocidad del desorción V_{1p} y se recogieron muestras para la realización del $C_{1\text{ bar}}$ de la capa octava y de la capa novena. Los resultados de estos análisis, así como la metodología para la determinación del $C_{1\text{ bar}}$ se incluyen en el anexo 9.

b. Subnivel Cero

En este subnivel se dieron dos sondeos en la apertura del mismo para conocer la concentración de grisú antes del comienzo de la explotación.

A la llave de carbón se dieron ocho sondeos a lo largo del subnivel, intentándose que fueran de bastante longitud para determinar la concentración de grisú en la llave y su variación a lo largo de la misma, ya que la longitud de la llave de carbón variaba de 40 m hasta 100 m (ver anexo 10).

Los valores de concentración nos permiten el cálculo del balance de grisú y de la influencia de la apertura del subnivel.

8.1.2 Concentración de gas residual

Se tomaron cuatro muestras en el avance del 5º Subnivel, tanto en el periodo de funcionamiento a dos relevos como cuando estaba a un relevo (anexo 11).

8.1.3 Concentración de grisú en el carbón transportado

Se analizaron en el 5º Subnivel cuatro muestras durante la fase de avance y seis durante la fase de sutiraje, mientras que en el sutiraje del Subnivel Cero se analizaron diez muestras (anexos 11 y 12).

Los resultados obtenidos en el Subnivel Cero, muestran que la concentración es muy variable, lo cual se debe a que la llave de carbón que se estaba sutirando era de unos 100 m en algunos puntos. Esto hacía que el carbón transportado tuviera distinto grado de desgasificación, en función de la distancia a la que se encontraba y por tanto, distinta concentración de grisú.

8.1.4 Contenido de grisú en la ventilación y velocidad del aire

Los equipos de registro continuo de grisú y velocidad del aire se instalaron en los dos subniveles en los que se realizó el estudio.

Asimismo, periódicamente se realizaban mediciones con grisúómetros y anemómetros portátiles para controlar el correcto funcionamiento de los equipos de registro continuo. Ejemplos de estas mediciones se adjuntan en el anexo 13.

8.1.5 Area de las secciones de las estaciones de aforo

Se realizaron varias mediciones del área de las secciones en las que estaban instalados los sensores, para determinar la constante K_1 que relaciona la anchura y la altura de la sección con el área de la misma (anexo 14). Por otro lado, se midió la sección en otros puntos para ver la influencia que tenía la aproximación del frente de sutiraje sobre la sección del subnivel.

8.1.6 Cenizas y producción

Para conocer el contenido en cenizas de la producción se tomaron muestras de unos 40 kg. Se recogieron cuatro muestras durante el avance y tres en el sutiraje del 5º Subnivel, y tres muestras en el sutiraje del Subnivel Cero. Los resultados de estos análisis se adjuntan en el anexo 15.

8.2 Volumen de influencia

8.2.1 Grado de desgasificación

Se realizaron cinco sondeos a la llave de carbón con longitudes de hasta 12 m. en el 5º Subnivel. Para evaluar el grado de desgasificación, se realizaron tres sondeos en el mismo punto, pero con el frente de avance a diferentes distancias del mismo, variando esta distancia desde 1 m a 10 m y con una profundidad de hasta 7 m. Asimismo, se realizaron sondeos en puntos situados a 90 m y 160 m del frente.

En los sondeos restantes no se aprecia ningún cambio significativo del valor de la concentración de grisú en las muestras tomadas desde 1 m a 12 m de profundidad, aunque a partir de los 10 m, surgía problemas por el comportamiento del carbón, siendo muy difícil continuar la perforación.

En el Subnivel Cero, se realizaron ocho sondeos a la llave de carbón llegando hasta los 18 m en uno de ellos (sondeo con problemas a la hora de la recogida de las muestras).

8.2.2 Módulo presiométrico

Las mediciones que se realizaron a la llave de carbón en los subniveles en estudio fueron las siguientes:

- a. En el 5º Subnivel, seis sondeos en los que se realizaron una media de cuatro ensayos presiométricos por sondeo. Estos sondeos se dieron en puntos situados debajo de la zona explotada por el subnivel superior y en puntos debajo de la zona por la que aún no había pasado el frente de sutiraje. La profundidad máxima de los sondeos fue de 10 m, no pudiendo sobrepasarse esta distancia, ya que los barrenos se cerraban por las

características del carbón.

- b. En el Subnivel Cero, se realizaron cuatro sondeos con una media de cuatro ensayos presiométricos por sondeo. La máxima longitud alcanzada fue de 10 m, no pudiéndose rebasar debido a que el sondeo se cerraba al extraer las barrenas.

8.2.3 Convergencias

Se midieron convergencias a lo largo del 5º Subnivel durante la fase de sutiraje. Los puntos de convergencia se marcaron sobre los cuadros metálicos y a diferentes distancias del recorte.

Se fijaron trece estaciones de medición de convergencias, realizándose las lecturas con una periodicidad de una semana. Asimismo, se anotaba la distancia a la que se encontraba el frente del sutiraje en el momento de realizar la medición.

Finalmente, también se realizaron medidas con el Profiler en tres cuadros del subnivel y con el frente a diferentes distancias para observar la reducción de la sección.

8.2.4 Variación de tensiones

Se colocaron tres cápsulas en el 5º Subnivel, a 11 m y 8 m hacia arriba y 6 m hacia abajo. Con estas cápsulas se observó la influencia del paso del sutiraje del 4º subnivel y la influencia del acercamiento del sutiraje del propio subnivel en la zona donde se encontraban colocadas.

En el Subnivel Cero, se colocaron dos cápsulas a 7,5 m y separadas entre sí 11 m, observándose la influencia del acercamiento del sutiraje del propio subnivel.

Todas las células se observaron periódicamente hasta su rotura por los disparos en el arranque de la llave de carbón.

9. RESULTADOS OBTENIDOS

9.1 Desprendimiento de grisú

Se dan seguidamente los valores obtenidos para el desprendimiento específico, coeficiente de irregularidad y balances de grisú, en los períodos de tiempo estudiados. Para los cálculos se ha utilizado la concentración de grisú en capa C_m determinada en atmósfera de aire.

- a) Período de tiempo comprendido entre el 13-5-91 y el 29-5-91, con el 5º Subnivel en avance a dos relevos y una llave de 22 m (anexo 16).

- Caudal medio de grisú (l/s) :

$$\overline{Q}_g = 19 \text{ l/s}$$

- Desprendimiento específico:

$$S = 137 \frac{m^3}{tp}$$

- Coeficiente de irregularidad (anexo 17):

$$i = 1,8$$

- Balance de grisú: Del análisis del balance de grisú realizado, se desprende que el 9,4% procede del carbón arrancado y el 90,6 % restante, de la zona influenciada (anexo 18).

- b) Período de tiempo comprendido entre el 30-5-91 al 30-6-91 con el 5º Subnivel en avance a dos relevos (anexo 16).

- Caudal medio de grisú (l/s):

$$\bar{Q} = 16,3 \text{ l/s}$$

- Desprendimiento específico (m³/tp):

$$S = 121 \frac{m^3}{tp}$$

- Coeficiente de irregularidad (anexo 17):

$$i = 2,3$$

- Balance de grisú : Del análisis del balance de grisú realizado, se desprende que el 10,9% procede del carbón arrancado y el 89,1% restante, de la zona influenciada (anexo 18).

- c) Período de tiempo comprendido entre el 1-7-91 y el 31-7-91 con el 5º Subnivel avanzando a un solo relevo (anexo 16).

- Caudal medio de grisú (l/s):

$$\bar{Q}_g = 13,5 \text{ l/s}$$

- Desprendimiento específico (m³/tp):

$$S = 210 \frac{m^3}{tp}$$

- Coeficiente de irregularidad (anexo 17):

$$i = 1,7$$

- Balance de grisú: Del análisis del balance de grisú realizado, se desprende que el 5,5% procede del carbón arrancado, mientras que el 94,5% restante procede de la zona influenciada (anexo 18).

d) Período de tiempo comprendido entre el 16-9-91 y el 15-10-91 con el 5º Subnivel en sutiraje (anexo 19).

-Caudal medio de grisú (l/s):

$$\overline{Q}_g = 4,2 \text{ l/s}$$

-Desprendimiento específico (m³/tp):

$$S = 6,8 \frac{m^3}{tp}$$

-Coeficiente de irregularidad:

$$i = 2,3$$

-Balance de grisú: Del análisis del balance de grisú realizado, se desprende que el 47,8% procede del carbón arrancado y el 52,2% restante, de la zona influenciada.

e) Período de tiempo comprendido entre el 07-11-91 y el 20-12-91 con el Subnivel Cero en sutiraje y con una altura de llave entre 40 y 100 m (anexo 20).

–Caudal medio de grisú (l/s):

$$\overline{Q}_g = 3,4 \text{ l/s}$$

–Desprendimiento específico (m³/tp):

$$S = 2,5 \frac{m^3}{tp}$$

–Coeficiente de irregularidad:

$$i = 3,7$$

–Balance de grisú: Del análisis del balance de grisú realizado, se desprende que el 54,2% procede del carbón arrancado, mientras que el 45,8% restante, procede de la zona influenciada.

9.2 Volumen de influencia

Los datos recogidos para la evaluación del volumen de influencia son el porcentaje de grisú que procede de la zona influenciada, el grado de desgasificación, las medidas presiométricas, las convergencias y la variación de tensiones.

9.2.1 Grado de desgasificación de la llave de carbón.

En primer lugar, se determinó en el 5º Subnivel la curva de desgasificación de la llave de carbón, relacionándose la concentración de grisú en capa con el tiempo que llevaba abierta dicha zona. Los resultados obtenidos se relacionan en la tabla I.

Tabla I

Sondeos	Concentración de grisú (m ³ /tp)			
1			2,7	
2	9,8			
3.	Sondeo no válido			
4		4,3		
5				2,5
Tiempo (días)	1	7	50	90

Los valores obtenidos en las mediciones de la concentración de gas en capa al frente y que representan la concentración máxima de gas de la llave, figuran en la tabla II.

Tabla II

Sondeos	Concentración de grisú (m ³ /tp)
1	10
2	9,8
3	10,1
4	10
5	8,9
6	9,8
7	8,6

Por otro lado, se ha obtenido el grado de desgasificación de la llave de carbón relacionando la concentración de grisú con la profundidad del barreno. De los sondeos realizados en el 5º Subnivel (10 m. el más largo) no se obtiene ninguna variación. En los sondeos realizados en el Subnivel Cero, se obtienen claras diferencias de concentración a distintas profundidades, como se puede apreciar en los valores que se recogen en la Tabla III; recordemos que en este subnivel la llave alcanzaba incluso los 100m.

Tabla III

Sondeos	Concentración de grisú en capa (m ³ /tp)					
1*	1,47		1,43	1,98		
2	1,73	2,34	2,54	3,04		
3	1,27					
4				1,54	1,72	2,66
5	1,02	1,8		4,6	4,49	5,35
6*			1,08	1,26	1,21	1,47
7	1,78	2,58	2,27	3,52		
8		1,82	2,90	4,2		4,13
Profundidad m.	7	8	9	10	11	12

Los sondeos marcados con un asterisco no son fiables debido a la gran dificultad que suponía la recogida de las muestras.

Se realizaron sondeos para calcular la concentración de grisú en capa en la apertura del Subnivel Cero, habiéndose obtenido los resultados siguientes (anexo 10):

Sondeo 1 .- 4,8 a 5 m³/tp

Sondeo 2 .- 5,5 m³/tp

Por otro lado, se realizaron sondeos a los carboneros y a la capa 9 como posibles influenciadas por la explotación de la capa octava. Los resultados se recogen en la tabla IV (anexo 21).

Tabla IV

Concentración de grisú m³/tp	
Carbonero 1	3,2
Carbonero 2	4,3
Capa 9	4
Capa 9*	2

La concentración de los carboneros se obtuvo de las muestras recogidas de un sondeo que se realizó desde la capa Octava hasta cortarlos. La concentración de la capa 9 se determinó en una labor en la propia capa, mientras que el sondeo de la capa 9* fue realizado en el 4º Recorte, encontrándose explotada la capa en esa zona y por tanto, desgasificada.

9.2.2 Medidas de presiometría

Se realizaron ensayos de presiometría, sondeando a la llave de carbón en el 5º Subnivel y en el Subnivel Cero. Los resultados se incluyen en las tablas V y VI y en los anexos 22 y 23.

Tabla V

Sondeos	Módulo presiométrico Ep+ Módulo presiométrico Ep- Indice de reversibilidad													
	8205 11362 2.6	6876 6370 2.10		6370 10028 1.74		6145 9022 2.14								
1°														
2							5640 8694 1.85		5827 9071 1.80	6432 8347 3.36		6618 8877 2.93	9061 10906 4.91	
3			8105 10853 2.95		7723 13600 1.31		8075 10813 2.95		7666 10780 2.46	6904 9394 2.77	6843 8794 3.51			
4		8050 11542 2.3	8040 11542 2.3											
5			8190 11750 2.3		8584 10920 3.68			6800 10960 1.63		6691 10112 1.96			6296 10318 1.57	
5-1												8090 11614 2.3	7704 11614 1.97	4821 11528 0.72
Prof. (m)	2	3.5	4.5	5	6	6.5	7	7.5	8	9	9.5	10	11	12

Los valores obtenidos en el 5º Subnivel son los que figuran en la Tabla V. El sondeo 1 se realizó debajo del sutiraje del 4º Subnivel y a 13 m del frente de avance del 5º Subnivel. Los demás sondeos se dieron en zonas por las que aún no había pasado el sutiraje del 4º Subnivel y a distancias superiores a 150 m del frente del sutiraje.

Tabla VI

Sondeo	Módulo presiométrico Ep' Módulo presiométrico Ep" Indice de reversibilidad									
1		9300 11321 4.60		9282 10546 7.34			7485 9875 3.13		8733 11271 3.44	
2	10187 10893 14.43		6153 11542 1.14		5646 10666 1.12					
3			6165 11557 1.14		6444 11607 1.25			8557 12569 2.13	8100 11628 2.30	5707 23257 0.33
4		8057 12157 1.97		7686 13092 1.42		8450 14166 1.48			5727 21175 0.37	
Prof. (m)	4	5	6	6.5	7.5	8	8.5	9	10	11

En los sondeos 3 y 4, en los metros 11 y 10, respectivamente, se encontraron problemas durante la realización del ensayo, ya que al llegar a una presión determinada (180 bar) no era posible mantener la presión incluso bombeando mayor cantidad de agua. Los lugares de estos sondeos coinciden con los de los sondeos donde se ha medido la concentración más alta de grisú en la llave de carbón.

9.2.3 Convergencias

Se han relacionado las convergencias con la distancia al frente de sutiraje y con el tiempo transcurrido (anexo 24). Se ha podido comprobar que la influencia del frente de sutiraje sobre el sostenimiento del subnivel llega hasta los 50 m.

Se midieron secciones con el Profiler en varios cuadros del subnivel y a diferentes distancias del frente de sutiraje, observándose una variación más acusada en las

secciones a partir de los 45 m de distancia al frente de sutiraje.

9.2.4 Variación de tensiones

En el 5º Subnivel se colocaron tres células, dos en la clave a 11 y 8 m, (en la llave de carbón) y una en la solera a 6 m. Se ha representado la variación de tensión que experimentaron las células al aproximarse el frente de sutiraje tanto del 4º subnivel como del 5º subnivel (anexo 25).

La célula colocada a 11 m en la clave comenzó a registrar aumento de presión cuando el sutiraje del 4º Subnivel estaba a 40 m aproximadamente de ella, siguiendo una variación pronunciada hasta que el frente de sutiraje del 4º Subnivel llegó a la altura del lugar de colocación de la misma. Posteriormente, continuó subiendo la presión de una forma prácticamente lineal con el acercamiento del sutiraje del 5º Subnivel, hasta llegar nuevamente a un intervalo entre los 38 y 43 m en el que se produjo una variación más fuerte de la presión, alcanzándose el máximo valor. Finalmente, se descargó totalmente en el momento en el que el sutiraje estaba entre 5 y 8 m, debido posiblemente a la rotura de la misma por efecto del disparo. Se ha podido constatar, que las células no experimentan ninguna variación en los períodos de inactividad en la labor.

La célula colocada a 8 m en la clave, no experimentó ninguna variación con el paso del sutiraje del 4º Subnivel. Comenzó a experimentar variación cuando el sutiraje del 5º Subnivel se encontraba a unos 43 m, aumentando la presión hasta que el frente del sutiraje se acercó a los 15 m. momento a partir del cual, comenzó a descender la presión.

La célula instalada a 6 m en la solera no registró ninguna variación de tensión al acercarse el frente del sutiraje del 5º Subnivel.

En cuanto a las células colocadas en el Subnivel Cero, éstas se situaron a 7,5 m en

la clave y separadas 11 m. La célula colocada más próxima al recorte resultó inutilizada antes de entrar en carga.

La otra célula comenzó a medir cuando el sutiraje, se encontraba a unos 45 m de ella manteniéndose más o menos estable hasta que el frente se acercó a los 13 m momento en el que comenzó a subir para alcanzar el máximo cuando éste se encuentra a unos 10 m de la célula, no midiéndose el descenso ya que cayó a cero al dispararse la llave de carbón (anexo 26).

10. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

10.1 Fase de avance del subnivel

10.1.1 Curva de desgasificación

Como se ha dicho anteriormente, se realizaron sondeos a la llave en el mismo punto en distintas fechas. A partir de los resultados obtenidos de esos sondeos, se ha podido determinar la ley que sigue la desgasificación del macizo de carbón (clave y solera) en función del tiempo resultando una exponencial cuya expresión es:

$$C_g(t) = C_{1bar} + (C_i - C_{1bar}) e^{-dt}$$

siendo:

- $C_g(t)$: Concentración de gas en capa, transcurrido el tiempo t desde la apertura de esa zona.
- C_{1bar} : Concentración de gas a 1 atm de presión.
- C_i : Concentración de gas en capa inicial, antes de la apertura.
- d : Constante que depende de las propiedades físicas del carbón (fisuración, porosidad...).

En nuestro caso, la curva de desgasificación del macizo de carbón es la que se muestra en la figura 3.

Conociendo esta curva de desgasificación, es posible conocer el gas que proviene del macizo de carbón, en un momento dado, en función del tiempo transcurrido desde el inicio del subnivel por integración de la misma. Cuando el subnivel tiene la longitud suficiente como para que haya zonas en las que el carbón tenga una concentración de gas en capa próxima al C_{1bar} y en un ritmo de avance constante, el gas que se desprende en un día del macizo de carbón es :

CURVA DE DESGASIFICACION DEL CARBON

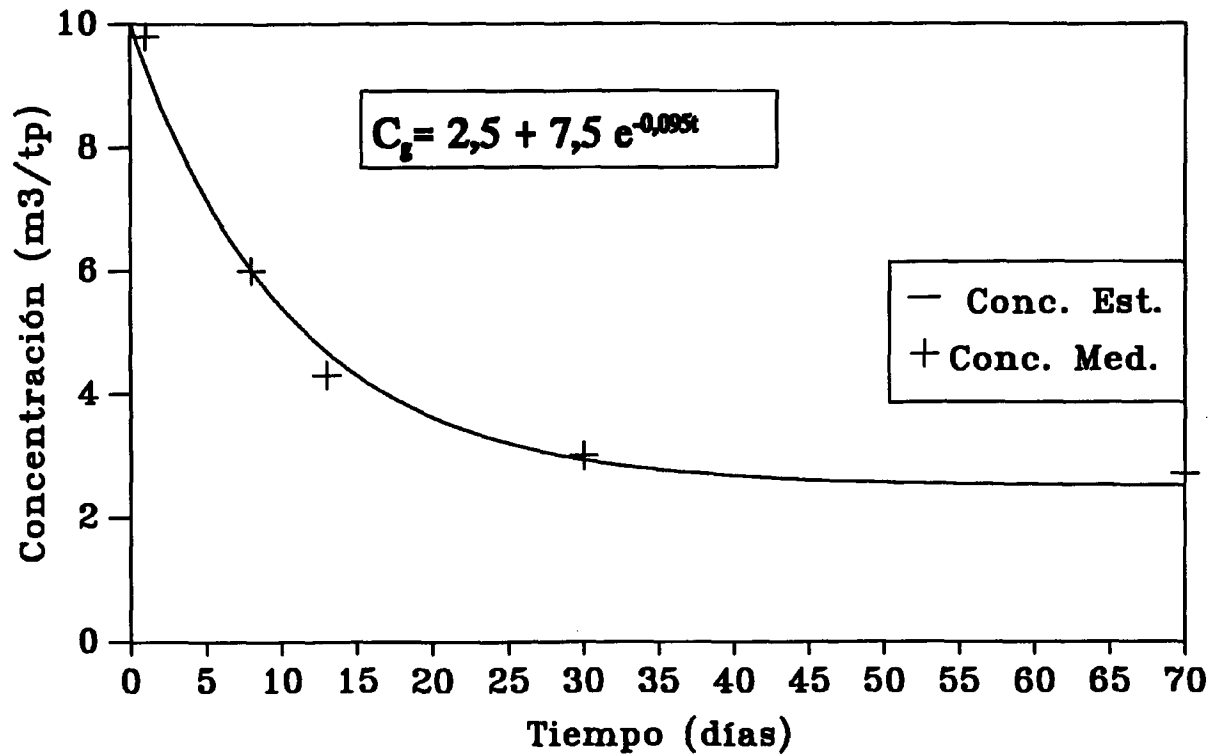


Figura 3

$$C_m = \int_0^{\infty} C_g(t) dt - \int_0^{\infty} C_{g-1}(t) dt + C_i - \int_{-1}^0 C_{g-1}(t) dt$$

siendo:

$C_{g-1}(t)$ la curva de desgasificación desplazada un día hacia la izquierda. Se calcula a partir de la curva $C_g(t)$, ya que únicamente cambia la constante $(C_i - C_{1\text{ bar}})$ de la exponencial.

De esta forma, se obtiene el volumen de gas desprendido, en un día, por tonelada pura de carbón descubierta. Se ha comprobado que este valor, en las circunstancias anteriormente citadas, coincide con el valor de $(C_i - C_{1\text{ bar}})$ (figura 4).

GAS DESPRENDIDO EN UN DIA

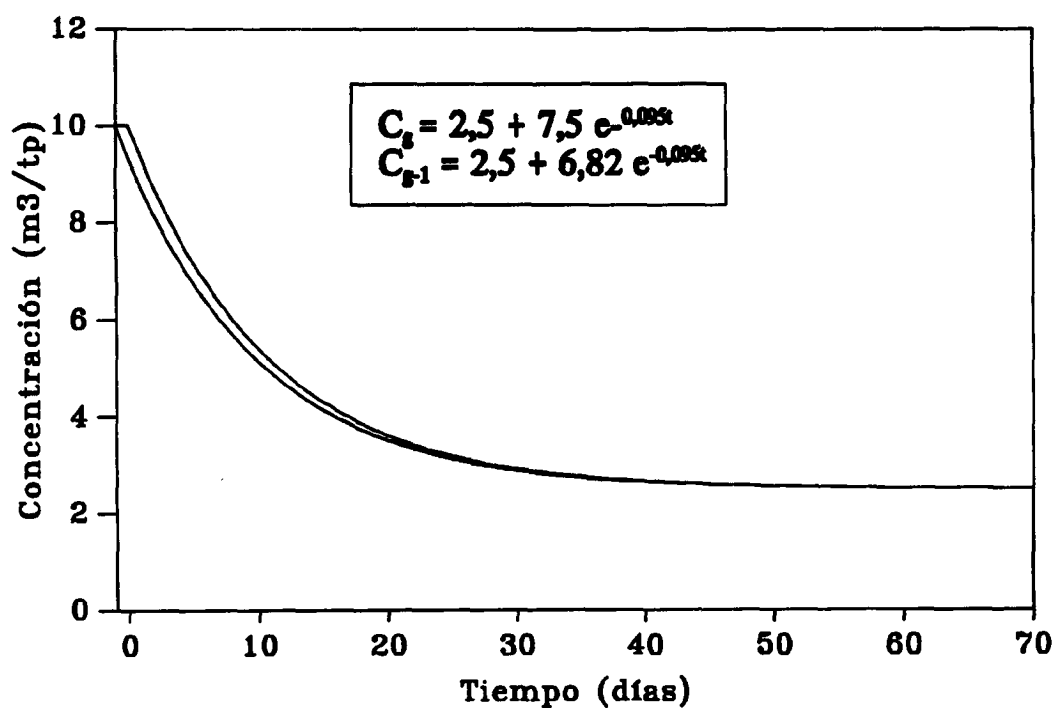


Figura 4

10.1.2 Zona de influencia

Para la determinación de la zona de influencia se ha trabajado desde tres puntos de vista distintos:

- . Concentración de grisú
- . Variación de tensiones
- . Medidas de presiometría

a. Concentración de grisú

De los sondeos realizados en el frente del 5º Subnivel en el avance (anexo 7), se obtiene la concentración de grisú inicial del macizo de carbón a explotar, resultando ser unos 10 m³/tp. Por otro lado, en los sondeos efectuados a la llave de carbón en el Subnivel Cero se observa un aumento considerable de la concentración de grisú a partir de los 10 m de profundidad (anexo 10), llegando prácticamente al valor de la concentración inicial.

Con estos valores, se puede afirmar que durante el avance del subnivel se desgasifica la llave de carbón hasta una altura de 10 m aproximadamente, pasando de la concentración inicial al valor del C_{1ba} . Esta afirmación está corroborada por los resultados obtenidos en los sondeos a la llave de carbón en el 5º Subnivel.

En el 5º Subnivel no se aprecia ningún cambio en el valor de la concentración de grisú en la llave de carbón, debido a la explotación del 4º Subnivel situado a una distancia en vertical del 5º Subnivel de unos 22 m. Por lo tanto, se puede concluir que la desgasificación provocada por la apertura y sutiraje del 4º Subnivel y la apertura del 5º Subnivel por debajo, afecta a la llave de carbón en su totalidad.

b. Variación de tensiones

Los valores obtenidos en cuanto a la variación de tensiones durante la apertura del subnivel, confirman que dicha apertura afecta a la llave de carbón hasta una altura comprendida entre los 8 m y los 11 m. Esto se desprende del hecho de que la cápsula presiométrica situada a 8 m no apreció ningún cambio con el paso del sutiraje del 4º Subnivel y una pequeña variación con el acercamiento del sutiraje de 5º Subnivel, debido a encontrarse en la zona influenciada por la apertura del 5º Subnivel, mientras que la cápsula situada a 11 m sí apreció cambios con la aproximación y paso del sutiraje del 4º Subnivel, por lo cual es claro que la cápsula se encontraba fuera de la zona de influencia de la apertura del 5º Subnivel (anexo 25).

En cuanto a la solera, la cápsula situada a 6 m no apreció ningún cambio con el paso del sutiraje del 4º Subnivel, ni prácticamente con el acercamiento del sutiraje del 5º Subnivel, lo que nos indica que la zona donde se colocó estaba afectada por la apertura del 5º Subnivel.

Con la cápsula colocada a 7.5 m en la llave en el Subnivel Cero se obtuvieron resultados muy similares (anexo 26).

c. Medidas de presiometría.

Las mediciones de presiometría en la llave de carbón no aportaron ninguna información útil para los objetivos de este trabajo.

10.1.3 Curva de desgasificación de hastiales

Considerando las concentraciones de gas en capa de los carboneros situados a muro de la capa y a los que se les ha supuesto una concentración inicial igual a la de la capa 9 (anexo 21), se ha determinado la ley que sigue el grado de desgasificación en

función de la distancia al subnivel, resultando una curva exponencial de la forma siguiente:

$$C_{gi}(d) = e^{-hd}$$

Siendo:

$C_{gi}(d)$: Grado de la desgasificación de la capa afectada por la apertura del subnivel en función de la distancia a la que se encuentra del mismo.

d: Distancia a la que se encuentra la capa del subnivel (m).

h: Constante que depende de las propiedades mecánicas de los hastiales (porosidad, fracturación, etc).

Para la zona estudiada, la curva del grado de desgasificación se muestra en la figura 5.

Es necesario conocer esta ley para estimar la cantidad de grisú proveniente de las capas adyacentes y que se desprende en la labor considerada.

10.2 Fase de sutiraje

10.2.1 Zona de influencia

Al igual que en la fase de avance, la zona de influencia se ha estudiado desde tres puntos de vista diferentes:

- . Concentración de grisú
- . Variación de tensiones
- . Medidas de presiometría

GRADO DE DESGASIFICACION FASE DE AVANCE

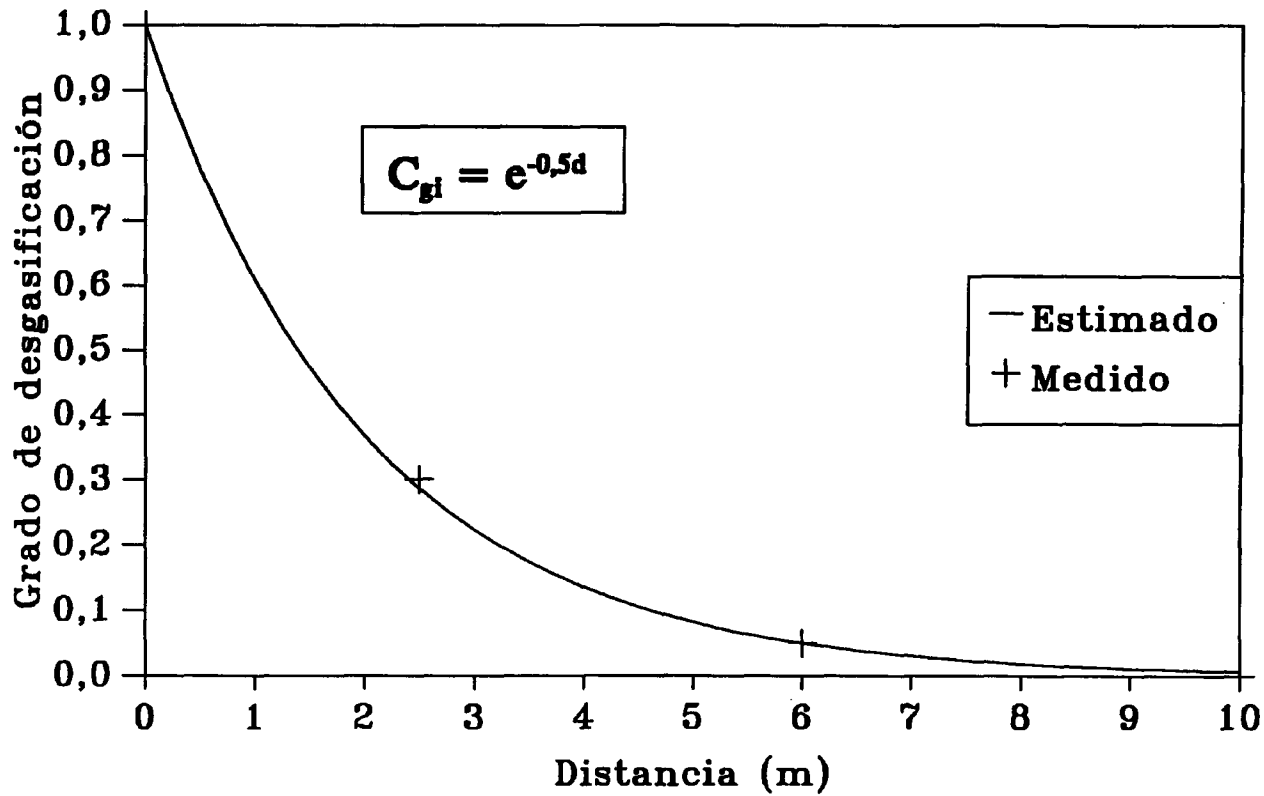


Figura 5

a. Concentración de grisú

En el sutiraje del Subnivel Cero, el valor de la concentración de grisú inicial es $5.2 \text{ m}^3/\text{tp}$ y la concentración residual es de $1.5 \text{ m}^3/\text{tp}$, inferior al $C_{1 \text{ bar}}$ cuyo valor es igual a $2.5 \text{ m}^3/\text{tp}$.

b. Variación de tensiones

De las variaciones de tensiones apreciadas en las cápsulas presiométricas, se puede concluir que el sutiraje afecta hacia abajo una longitud mayor que la apertura del subnivel, hasta unos 13 m, 3 m más que en la apertura del Subnivel aproximadamente.

Las cápsulas colocadas a 8 y 7.5 m solo han presentado una pequeña variación cuando el sutiraje del subnivel donde se encuentran, se acerca a una distancia comprendida entre los 40 y 50 m de las mismas.

La cápsula situada a 6 m hacia abajo en el 5º Subnivel no experimentó ninguna variación.

c. Medidas presiométricas

La realización de medidas presiométricas en la zona del 5º Subnivel por la que ya había pasado el sutiraje del 4º Subnivel, no han aportado ningún resultado a tener en consideración.

10.2.2 Curva de degasificación de hastiales

Las diferencias de concentración de grisú en la capa octava en la zona del 5º Subnivel, $10 \text{ m}^3/\text{tp}$ y en la zona del Subnivel Cero, $5.5 \text{ m}^3/\text{tp}$, se pueden deber a que la capa 9, situada a 28 m de la capa octava en la zona del 5º Subnivel, está sin explotar,

mientras que se encuentra a 20 m en la zona del Subnivel Cero y explotada. Este hecho demuestra la influencia de la explotación de la capa novena sobre la capa octava y viceversa y hace necesario determinar la influencia del sutiraje de la capa octava en el 5º Subnivel sobre la capa novena, sin explotar y con unos 3.5 m de potencia y 5.2 m³/tp de concentración de grisú. Con estos datos y observando los balances de grisú obtenidos en el sutiraje del 5º Subnivel con una llave de carbón de 22 m y el sutiraje del Subnivel Cero con una llave que varía entre los 40 y 100 m, se ha determinado la ley que sigue el grado de desgasificación de los hastiales en función de la distancia al subnivel, que tiene la expresión siguiente:

$$C_{gi}'(d) = e^{-hd}$$

Siendo:

- $C_{gi}'(d)$: Grado de desgasificación en la capa afectada por el sutiraje del subnivel en función de la distancia a la que se encuentra del subnivel.
- d: Distancia a la que se encuentra la capa del subnivel en sutiraje (m).
- h: Constante que depende de las propiedades mecánicas de los hastiales (porosidad, fracturación, etc).

En nuestro caso, la curva es la que se representa en la figura 6.

Conociendo esta curva, se puede obtener la cantidad de grisú que proviene de los carboneros y capas adyacentes influenciadas por el sutiraje del Subnivel.

GRADO DE DESGASIFICACION FASE DE SUTIRAJE

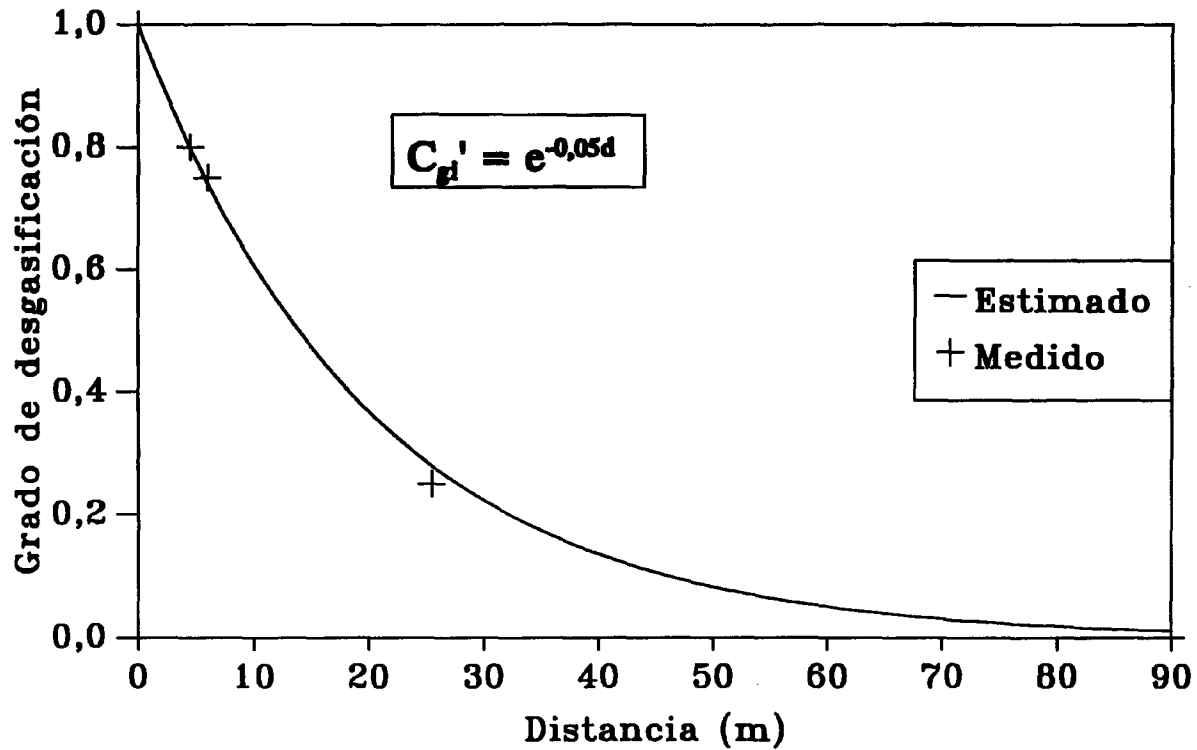


Figura 6

11. OBTENCION DE LOS MODELOS DE PREVISION DEL DESPRENDIMIENTO

11.1 Hipótesis para la obtención del modelo

Las hipótesis que se han supuesto para la obtención de los modelos de previsión del desprendimiento durante el avance y el sutiraje del subnivel, son las que se relacionan a continuación:

- a.- Las características de la capa de carbón (potencia, contenido en cenizas, densidad del carbón, concentración de grisú en capa, etc.) permanecen constantes a lo largo de toda la corrida del panel.
- b.- La zona influenciada por la explotación en la capa, tanto durante el avance como durante el sutiraje, desgasifica totalmente. Es decir, en el límite de la zona influenciada se supone que existe un salto en la concentración de grisú y no una variación progresiva como de hecho se produce.
- c.- Para calcular el grado de desgasificación de las capas y carboneros incluidos en la zona de influencia, se toma la distancia del punto central de la capa o carbonero a la explotación.
- d.- Todo el gas susceptible de desprenderse de las capas y carboneros adyacentes, incluidos en la zona de desgasificación, lo hace hacia la labor.
- e.- El gas que migra por el hundido se considera despreciable frente al grisú que sale en la corriente de ventilación y en el carbón transportado (ver anexo 27).

11.2 Modelo de desprendimiento en avance

De los resultados obtenidos en los balances de grisú y cálculo de desprendimiento específico en avance, así como de los resultados analizados anteriormente (grisú en

capa, variación de tensiones y curvas de desgasificación del macizo y de los hastiales) se obtiene que la zona influenciada por la apertura de un subnivel en carbón es igual a 6 veces el radio equivalente R de la sección abierta, en todas las direcciones. En nuestro caso, como la sección es de 9 m² y el radio equivalente 1.7 m, la zona influenciada es un círculo de aproximadamente 10 m de radio.

Como el grisú desprendido es igual a $G_z + G_c$ para desarrollar el modelo de desprendimiento, se parte de la determinación del grisú procedente de la zona influenciada por la apertura del subnivel G_z , ya que el grisú que proviene del carbón arrancado G_c se conoce fácilmente.

El grisú que proviene de la zona influenciada durante el avance, se ha calculado con los datos obtenidos diariamente en los desprendimientos de grisú, y tomando como desprendimiento tipo el correspondiente al mes de junio del 91.

Con estos datos y en función de la zona influenciada comentada anteriormente, la potencia de la capa, la densidad media y el contenido en cenizas de la capa, se tiene que la cantidad de grisú proveniente de la zona influenciada por metro de avance es:

$$G_z = K (M_c C_d + \sum_{i=1}^N m_{ci} g_i c_{di})$$

Siendo:

K: constante función de la irregularidad de la capa en cuanto a potencia, cenizas, densidad, concentración de grisú, etc. Esta constante es la relación entre los valores diarios de desprendimiento y el valor medio mensual de dicho desprendimiento. En nuestro caso, $K = 1,25$ y se encuentra en el intervalo 0,74–1,76 con una probabilidad del 95% (anexo 28).

C_d : Diferencia entre la concentración inicial y la concentración residual de la

capa explotada (m^3/tp).

n: Número de capas adyacentes dentro del área (6.R) afectada por la explotación.

C_{ai} : Concentraciones iniciales de las capas adyacentes y carboneros (m^3/tp)

g_i : Grado de desgasificación de los carboneros y capas adyacentes, dado por la curva de desgasificación de hastiales en la apertura del subnivel

M_c : Masa de carbón influenciada por la apertura del subnivel tanto en la llave como en la solera (tp).

$$M_c = (p_c * \rho * l) \left(1 - \frac{C_e}{100}\right)$$

donde:

p_c : Potencia de la capa (m).

ρ : Densidad del carbón (t/m^3).

C_e : Contenido en cenizas de la capa (%).

l : longitud afectada por la apertura del subnivel (m)

m_{ci} : Masa de carbón influenciada por la apertura del subnivel, perteneciente a las capas y carboneros incluidos en la zona de influencia

$$m_{ci} = p_i * \rho_i * l_i * \left(1 - \frac{C_{ei}}{100}\right)$$

donde:

p_i : Potencia de la capa o carbonero (m)

ρ_i : Densidad de la capa o carbonero (t/m^3)

C_{ei} : Contenido en cenizas de la capa o carbonero (%)

l_i : Longitud de la capa incluida en la zona de influencia (m).

Por otro lado, el grisú proveniente del carbón arrancado que se desprende en la labor es:

$$G_c = P (C_i - C_t)$$

donde:

- P: Producción pura por metro de avance (tp/m).
- C_i : Concentración de grisú del carbón arrancado (m^3/tp).
- C_t : Concentración de grisú del carbón transportado (m^3/tp).

El grisú total desprendido es:

$$G_t = G_z + G_c$$

Por lo que, el desprendimiento específico será:

$$S = \frac{G_t}{P} * f$$

Siendo:

- P: Producción pura de carbón obtenida en un metro de avance (tp/m).
- f: Coeficiente que considera los períodos improductivos (fines de semana, arranque a un sólo relevo) en los que no hay producción, pero se sigue desprendiendo grisú. Para arranque a dos relevos, se ha considerado que el período improductivo es únicamente el fin de semana, por lo que el valor de este coeficiente es $\frac{7}{5}$, mientras que para arranque a un sólo relevo, es como si se trabajara únicamente 3 días a la semana, por lo que el valor de este coeficiente es $\frac{7}{3}$.

Los cálculos realizados para la obtención del modelo se incluyen en el anexo 29.

11.3 Modelo de desprendimiento en sutiraje

Para obtener el modelo de desprendimiento durante el sutiraje, se procede de la misma forma que en el avance, calculando, en primer lugar, el grisú que proviene de la zona de influencia. La fórmula empleada para calcular dicho volumen de grisú es la misma que en el modelo de desprendimiento en el avance del subnivel, pero considerando el volumen total de carbón influenciado en esta fase de la explotación, tanto de la capa considerada como de las capas y carboneros incluidos en el volumen de influencia, así como sus concentraciones de gas en capa al comenzar esta fase de la explotación.

El cálculo del volumen de grisú proveniente de la zona influenciada por metro de avance, viene dado por la siguiente expresión:

$$G_z = K (M_c C_d + \sum_{i=1}^n m_{ci} g'_i C_{di})$$

Siendo:

- K: Constante descrita anteriormente para el modelo en avance del subnivel.
- C_d : Diferencias entre la concentración inicial y la concentración residual de la capa en explotación durante la fase de sutiraje (m^3/tp)
- n: Número de capas y carboneros adyacentes dentro de la zona de influencia del sutiraje
- C_{di} : Concentraciones iniciales de las capas adyacentes y carboneros (m^3/tp)
- g'_i : Grado de desgasificación de los carboneros y capas adyacentes, dado por la curva de desgasificación de hastiales en el sutiraje del subnivel:
- M_c : Masa de carbón influenciada por el sutiraje del subnivel:

$$M_c = p_c * \rho * l \left(1 - \frac{Ce}{100}\right)$$

Donde:

p_c : Potencia de la capa (m).

ρ : Densidad de la capa (t/m^3).

C_e : Contenido en cenizas de la capa (%).

l : Longitud de la capa afectada por el sutiraje del subnivel que no ha sido afectada por la apertura del mismo (m).

m_{ci} : Masa de carbón influenciada a las capas de carbón y carboneros adyacentes dentro de la zona de influencia del sutiraje

$$m_{ci} = p_i * \rho_i * l_i \left(1 - \frac{C_{ci}}{100} \right)$$

Donde:

p_i : Potencia de la capa o carbonero (m)

ρ_i : Densidad de la capa o carbonero (t/m^3)

C_{ci} : Contenido en cenizas de la capa o carbonero (%)

l_i : Longitud de la capa o carbonero incluida en la zona de influencia (m)

Una vez obtenido el valor de la cantidad de grisú proveniente de la zona influenciada G_z por metro de avance, y conociendo el grisú proveniente del carbón arrancado G_c que es igual a $G_c = P (C_i - C_t)$,

donde:

P : Producción pura por metro de avance (tp/m).

C_i : Concentración de grisú del carbón arrancado (m^3/tp).

C_t : Concentración de grisú del carbón transportado (m^3/tp).

el grisú desprendido es:

$$G_i = G_z + G_c$$

Por tanto, el desprendimiento específico será:

$$S = \frac{G_t}{P} * f$$

Siendo:

- P: Producción pura de carbón obtenida en un metro de avance (tp/m).
- f: Es el mismo coeficiente que el explicado para el modelo durante el avance.

Los cálculos realizados para la obtención del modelo se incluyen en el anexo 30.

12. CONCLUSIONES

A continuación se relacionan las conclusiones más importantes obtenidas en el presente proyecto:

- a. Se ha elaborado un modelo que permite estimar el desprendimiento medio de grisú que se va a producir durante la explotación por sutiraje de una capa de carbón potente y vertical con sutiraje, tanto en la fase de avance como en la de sutiraje. Los parámetros considerados en el modelo son las características del carbón (densidad, contenido en cenizas, $C_{1\text{ bar}}$), las características de la capa explotada (concentración de gas en capa, potencia) y las características de las capas adyacentes (concentración de gas en capa, contenido en cenizas, densidad del carbón). Todos estos parámetros son fáciles de conocer y, por lo tanto, la estimación del desprendimiento de grisú se puede realizar de una forma económica.
- b. Se ha determinado la curva de desgasificación del carbón en función del tiempo, habiéndose comprobado que los parámetros de dicha curva son el $C_{1\text{ bar}}$ y las propiedades del carbón relacionadas con la porosidad y la permeabilidad. Esta curva permite conocer la cantidad diaria de grisú por metro de avance que se desprenderá de la clave y de la solera del subnivel durante la explotación. Asimismo se ha podido constatar el hecho de que en régimen permanente y cuando hay puntos en los que ya se ha alcanzado la concentración final ($C_{1\text{ bar}}$), el grisú que se desprende de la clave y de la solera del subnivel, en un día y por metro de avance, es igual a la diferencia entre la concentración de gas en capa inicial y el $C_{1\text{ bar}}$.
- c. Se ha determinado el grado de desgasificación de las capas y carboneros influenciados por la explotación tanto durante la fase de avance como durante la fase de sutiraje, mediante mediciones de la concentración de gas en capa. A partir

de este valor se puede estimar el grisú que se desprenderá hacia la labor procedente de dichas capas.

- d. Se ha definido el volumen de influencia tanto de la apertura del subnivel como de la retirada en sutiraje, por medio de la variación de la concentración de grisú en capa. La zona de influencia de la apertura del subnivel es aproximadamente un círculo de radio igual a 6 veces el radio equivalente de la sección abierta. En cuanto al volumen de influencia del sutiraje, se ha podido constatar por el grado de desgasificación de las capas adyacentes, que alcanza hasta una distancia comprendida entre los 90 m y los 100 m.

Los resultados obtenidos de este trabajo se han contrastado con los valores medidos en la capa octava del Pozo Montsacro de HUNOSA, en la cual se avanzan los subniveles con martillo picador y a una velocidad media de unos 2 m/día. Sin embargo, no se ha podido validar dichos resultados en otras capas ni ver la influencia de la velocidad de avance sobre el desprendimiento. Por estas razones, se considera importante validar el modelo obtenido, con el fin de ajustar mejor los parámetros que pilotan el modelo y estudiar la influencia que tiene la velocidad de avance durante la apertura del subnivel sobre la cantidad de grisú desprendido, las irregularidades en el desprendimiento y el volumen de influencia de la explotación.

El modelo elaborado permite estimar el desprendimiento medio de grisú. Sería necesario estudiar las puntas de grisú que se producen durante la apertura del subnivel, y durante la fase de sutiraje, debido estas últimas a la explotación de carbón que no ha sido influenciado y, por tanto no ha desgasificado previamente (sutiraje de una llave de carbón superior a la altura influenciada, comienzo de la retirada en un subnivel de mayor longitud que el superior, etc)

Por último, se ha observado repetidamente que, en el límite de la zona influenciada por la apertura del subnivel, se produce un pico en la velocidad de desorción. Este

hecho hace pensar que puede existir una relación entre la velocidad de desorción del carbón y el estado tensional del macizo, pudiendo ser objeto de una investigación posterior.

BIBLIOGRAFIA

ARCAMODE, J; TRITSCH, J.J. (1984)

L'essai pressiometrique

Cerchar. Vernenil-en-Halatte

BARKER-READ, G.R; RADCHENKO, S.A. (1988)

Methane emission from coal and associated strata samples. International Journal of Mining and Geological Engineering, 1989, 7, 101-126

CREEDY, D.P. (1989)

Prediction of gas emission in short faces and in drivages. Informe final del proyecto CECA, 7220-AC/834 H.T.D.

British Coal. Bretby

CURL, S.L. (1978)

Methane prediction in coal mines

Informe ICTIS/TR 04, Londres, IEA Coal Research

DOMINGUEZ, M; MARGARETO, J; et al (1989)

Explotación por subniveles horizontales en HUNOSA

HUNOSA, Oviedo

DUNMORE, R; BENNETS, E.J et al (1989)

Short-term forecasting of methane emission levels using continuously monitored data

Informe final del proyecto CECA 72,20-AC/832

DUNMORE, R. (1981)

Prediction of gas emission from longwall faces.

The Mining Engineer, nº233. Febrero 1981

DUNMORE, R; BROWING, E.J; et al (1986)

Investigation of firedamp and its emission in coal seams.

Informe final de proyecto CECA 7220-AC, 819

ENCHAYAN, B (1977)

Le volume d'influence des exploitations en dressants (Tesis Doctoral)

MARTINEZ, C.; GUINEA, E. (1989)

Proyecto para mejoras técnicas en la aplicación del método de explotación por sutiraje.

AITEMIN, Madrid

WHITTAKER, D (1987)

Investigation of foredamp and its emission in coal seams.

Informe final del proyecto CECA 7220-AC/819. HQT.D. British Coal, Bretby