OCICARBON
ASOCIACIÓN GESTORA PARA LA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL CARBÓN

Informes de Difusión de Proyectos

Previsión de Desprendimiento de Grisú en Capas Estrechas e Inclinadas

(C-13-323)

Titular: AITEMIN

Ciemat Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas

Miner

CARBON
ASOCIACIÓN GESTORA PARA LA INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL CARBÓN

Informes de Difusión de Proyectos

16

Previsión de Desprendimiento de Grisú en Capas Estrechas e Inclindas

(C-13-323)

Titular: AITEMIN

Ciemat Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas
Miner

Depósito Legal: M-4557-1998
ISSN: 1138-7041
NIPO: 238-98-004-6

1. ABSTRACT

A model to forecast firedamp emission in thin, steep coalbed, mining in advance and backfill works, has been developed and validated. The model estimates the amount of methane released towards the works, including firedamp proceeding from the actually mined seam, as well as methane coming from adjacent seams and layers, depending on easy-to-find parameters.

Methane coming from the mined seam is determined as a function of the methane concentration in the seam and methane from adjacent seams is assessed by the degassification degree. This parameter depends also on the distance to the mined seam.

The influence volume of a thin, steep mined coalbed has been determined, in order to study which seams and layers release methane towards the works.

The works to develop the methane emission model were done in a coalface on María seam, in San Antonio mine, belonging to HUNOSA. The validation works were carried out in 24 left south seam, in the belonging to Minas de Figaredo, S.A.

1. INTRODUCCIÓN

En este proyecto de investigación, se ha obtenido y validado un modelo que permite prever cuál será el desprendimiento de grisú que se produce en la explotación de capas estrechas e inclinadas, en avance y con relleno. El modelo estima 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 procedente de la capa explotada se determina en función de la concentración de grisú en capa y el gas de las capas y carboneros adyacentes, se estima en base al grado de desgasificación, el cual depende de la distancia a la que se encuentra la capa considerada de la capa explotada.

Para poder conocer las capas y carboneros que desgasifican hacia la labor, se ha determinado el volumen influenciado por la explotación de una capa estrecha e inclinada.

Los trabajos para la obtención del modelo de previsión del desprendimiento de grisú se han llevado a cabo en un taller sobre la capa María del Pozo San Antonio de la empresa HUNOSA y los trabajos de validación se han realizado en un taller sobre la capa 24 Sur Izqda de la empresa Minas de Figaredo, S.A.

2. MEDICIONES REALIZADAS Y RESULTADOS OBTENIDOS

2.1 Desprendimiento de grisú

Para determinar el desprendimiento de grisú, el coeficiente de irregularidad y realizar los balances de grisú, se determinaron los siguientes parámetros:

a. Concentración de grisú en capa: Se realizaron mediciones de la concentración de gas en capa durante el avance, tanto de las guías como del taller, y de las capas adyacentes.

b. Contenido de metano y velocidad de aire: Se instalaron equipos de registro continuo para medir el contenido de grisú en la corriente de ventilación y la velocidad del aire.

c. Área de las secciones de las estaciones de aforo: Se realizaron mediciones del área en las secciones donde estaban instalados los sensores.

d. Cenizas y producción: Para conocer el contenido en cenizas, se tomaron muestras del todo-uno. Asimismo, se controló la producción.

Los resultados obtenidos del desprendimiento de grisú, coeficiente de irregularidad y balance de grisú para los meses en los que se realizó el estudio, se recogen en la Tabla I, mientras que en la Tabla II, se incluyen los resultados obtenidos para periodos cortos de tiempo.

2.2 Volumen de influencia

Para evaluar la forma y el tamaño del volumen de influencia, se midieron los siguientes parámetros:

a. Expansiones: Se midieron los movimientos relativos que sufre el macizo rocoso como consecuencia de la explotación de la capa, en ocho estaciones, compuestas, cada una de ellas, por tres sondeos, (techo, muro y corona), tanto en la guía de cabeza como en la de base. En las

figuras 1 a 4, se representan las expansiones en función del tiempo, en algunas estaciones representativas.

Tabla I

MES	S (m^3/tp)	i	G_{ca} (%)	G_z (%)
DICIEMBRE '94	12.9	3.55	60.5	39.5
ENERO '95	10.6	2.86	71.4	28.6
FEBRERO '95	8.4	3.00	84.5	15.5
MARZO '95	10.0	6.00	75.1	24.9
ABRIL '95	10.2	3.75	74.0	26.0
MAYO '95	8.7	3.03	84.0	16.0

Tabla II

PERIODO	S (m^3/tp)	G_{ca} (%)	G_z (%)
1/12/94 - 21/12/94	11.9	64.9	35.1
22/12/94 - 05/01/95	11.3	67.7	32.3
06/01/95 - 23/01/95	11.5	66.7	33.3
24/01/95 - 09/02/95	10.9	69.9	30.1
23/02/95 - 09/03/95	10.0	75.1	24.9
10/03/95 - 24/03/95	10.2	73.7	26.3
25/03/95 - 10/04/95	10.8	70.3	29.7
20/04/95 - 26/04/95	8.7	84.4	15.6
27/04/95 - 10/05/95	8.4	74.8	25.2
11/05/95 - 24/05/95	8.3	87.8	12.2

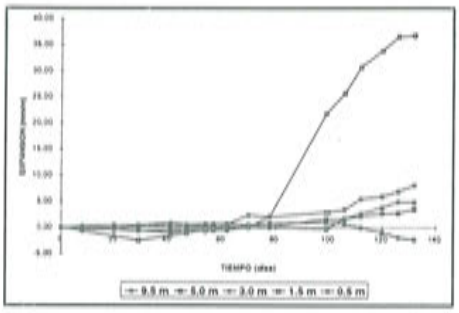

Figura 1

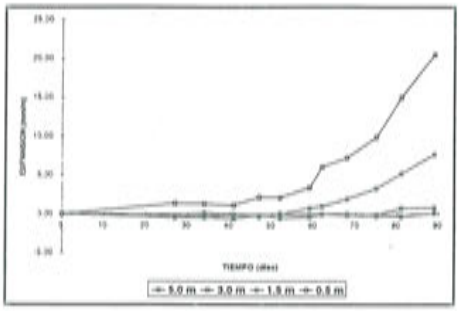

Figura 2

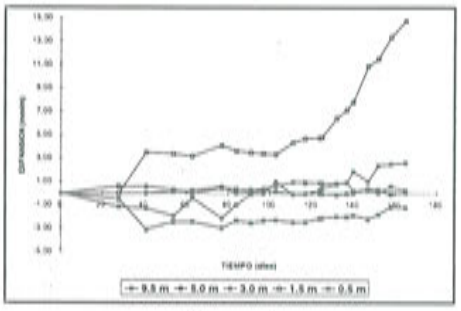

Figura 3

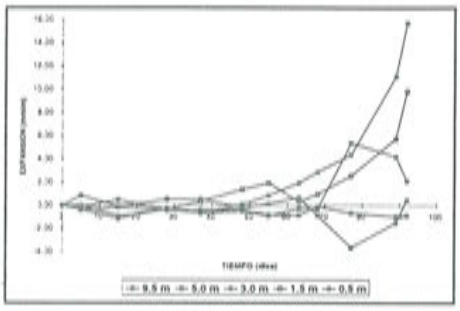

Figura 4

b. Convergencias: En las mismas estaciones en las que se midieron los expansiones, se midió la convergencia horizontal y la vertical. En las figuras 5 y 6 se representan las convergencias horizontales y verticales en función de la distancia al taller.

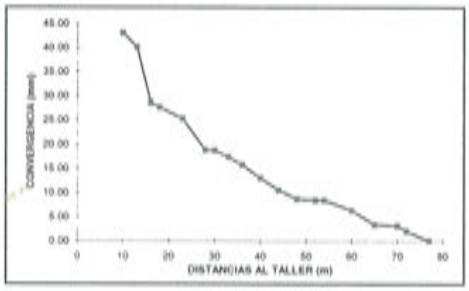

Figura 5

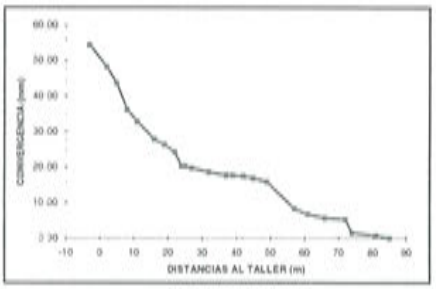

Figura 6

3. MODELIZACIÓN NUMÉRICA

Dentro del presente proyecto, se ha realizado la modelización numérica de la

explotación mecanizada de una capa de carbón estrecha e inclinada, para diferentes potencias (1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 m) y diferentes inclinaciones (60º, 70º, 75º, 80º, 85º y 90º).

Esta modelización se ha llevado a cabo con el fin de estimar la zona influenciada, tanto por la apertura de las guías como durante la explotación del taller.

Para que los resultados tengan una validez más general, se ha modelizado una situación genérica de una capa de carbón en la Cuenca Central Asturiana. Por esta razón, para fijar las propiedades geomecánicas, se han tomado las propiedades de los hastiales de dicha cuenca y se ha obtenido un valor promedio, en función de las potencias y de las propiedades de los distintos estratos. En cuanto a las propiedades del carbón, se han tomado los valores medios de las propiedades de las capas de dicha cuenca.

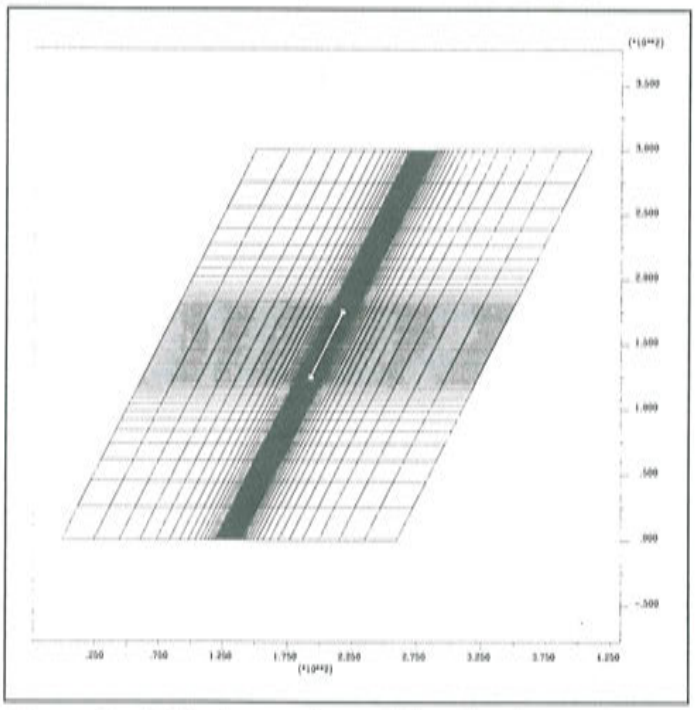

Figura 7. Mallado para la modelización de un taller en capa estrecha y vertical.

3.1 Modelización del avance de las guías y de la explotación del taller

Para la modelización del avance de las guías y de la explotación del taller, se ha diseñado un mallado de 260 x 300 m^2, el cual se representa en la figura 7. La capa de carbón se ha situado en el centro del lado horizontal y la explotación en el centro del mallado.

Las condiciones de contorno impuestas al modelo son de desplazamientos nulos en el contorno inferior y de tensiones fijas en el resto de los contornos.

3.1.1 Volumen de influencia de las guías del taller

Para cada potencia e inclinación de capa, se ha estimado la longitud influenciada alrededor de la galería, tanto para la de cabeza como para la de base del taller. Con esos datos, se ha realizado un estudio estadístico, tratando de correlacionar las longitudes influenciadas con la inclinación, para cada una de las potencias de capa, habiéndose comprobado que existe, entre ambas, una relación lineal de la forma:

$$L = A\ P - B$$

siendo:

A, B constantes que dependen de la inclinación de la capa, del diámetro de la galería y de las propiedades del carbón y de los hastiales.

P potencia de la capa (m).

En la Tabla III, se recogen los valores de las constantes A y B para las distintas inclinaciones de capa.

Por lo tanto, conocida la potencia de la capa es posible estimar la zona influenciada alrededor de las guías, como consecuencia de la apertura de las

mismas.

Tabla III

	CABEZA		BASE	
INCLINACIÓN (º)	A	B	A	B
60	3.80	1.900	3.63	1.490
70	4.50	2.610	4.30	2.150
75	3.84	1.195	4.19	1.620
80	4.05	1.150	4.35	1.675
85	3.80	1.150	3.80	0.900
90	3.92	1.260	3.85	1.125

3.1.2 Volumen influenciado por la explotación del taller

Finalizada la modelización de la explotación del taller, se estimó la longitud influenciada tanto a techo como a muro. Con los resultados obtenidos, se ha realizado un estudio estadístico para estudiar las relaciones con la inclinación y la potencia, habiéndose comprobado que existe una relación exponencial entre la longitud influenciada y la inclinación, de la forma:

$$L = D - E\ e^{-F\ i}$$

donde:

D,E,F constantes que dependen de la potencia de la capa, del diámetro de la galería y de las propiedades del carbón y de los hastiales.

i inclinación de la capa (º).

Los valores de las constantes D, E y F obtenidos para las distintas potencias de capa son los que se incluyen en la Tabla IV, para el techo y en la Tabla V, para el muro.

Tabla IV

POTENCIA	D	E	F
1.0	27.69	1676.33	0.076
1.5	21.31	879.87	0.054
2.0	4.76	226.50	0.025
2.5	-169.40	310.75	0.005

Tabla V

POTENCIA	D	E	F
1.0	20.35	344.63	0.044
1.5	16.33	398.18	0.041
2.0	-64.20	193.52	0.008
2.5	-194.07	322.20	0.0039

En la figura 8, se representa la zona plastificada alrededor de un taller en una capa estrecha y vertical.

Asimismo, se ha estimado la longitud influenciada hacia la clave de la galería de cabeza y hacia la solera de la guía de base. Con los valores obtenidos, se ha realizado un análisis estadístico para determinar la relación entre dichas longitudes y la potencia de la capa, habiéndose comprobado que es una relación lineal, cuya expresión es:

$$L = G\ P - H$$

siendo:

G, H constantes que dependen de la inclinación de la capa, del diámetro de la galería y de las propiedades del carbón y de los hastiales.

P potencia de la capa (m).

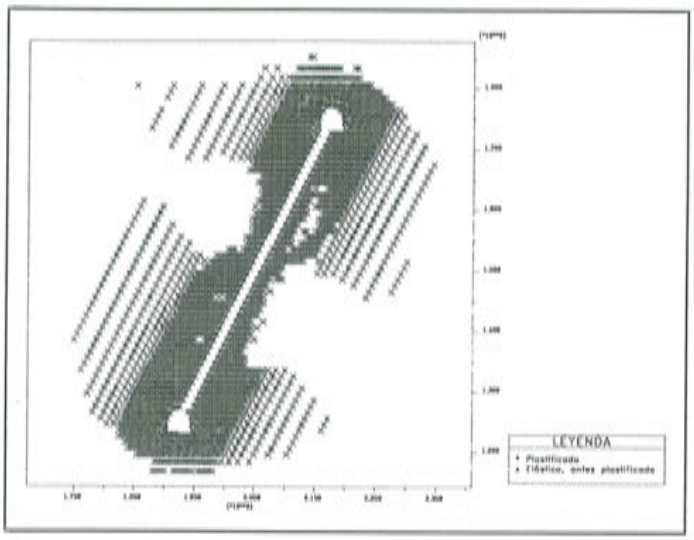

Figura 8. Zona plastificada alrededor de un taller en una capa estrecha y vertical.

Los valores de las constantes para las diversas inclinaciones se recogen en la Tabla VI.

Tabla VI

	CABEZA		BASE	
INCLINACIÓN (º)	G	H	G	H
60	3.70	0.85	2.80	-1.10
70	4.90	2.45	3.30	-0.60
75	4.78	2.19	3.70	0.10
80	4.30	1.15	4.00	0.75
85	4.30	1.15	4.40	0.95
90	4.40	1.20	4.10	0.05

Por tanto, conocida la potencia y la inclinación de la capa considerada, es posible estimar la zona influenciada tanto hacia los hastiales de la capa, como hacia la clave y la solera de las guías del taller.

4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1 Zona de influencia

La zona influenciada por la explotación de una capa estrecha y vertical se define como un paralelogramo, con dos lados horizontales y otros dos lados paralelos a la traza del taller (fig. 9). La longitud de los lados se calculan mediante las expresiones siguientes:

$$l_H = l_t + l_m + P$$

$$l_l = l_T + 2 * h_g + l_{cc} + l_{sb}$$

siendo:

- l_H longitud de los lados horizontales (m).
- l_t longitud influenciada hacia el techo de la capa (m).
- l_m longitud influenciada hacia el muro de la capa (m).
- P potencia de la capa (m).
- l_l longitud de los lados paralelos a la traza vertical del taller (m).
- l_T longitud del taller (m).
- h_g longitud de capa cortada por las guías (m).
- l_{cc} distancia influenciada hacia la clave de la galería de cabeza (m).
- l_{sb} distancia influenciada hacia la solera de la galería de base (m).

4.2 Grado de desgasificación

4.2.1 Capa explotada

Observando las curvas de variación de las tensiones principales en la capa de carbón hacia la clave de la galería de cabeza y hacia la solera de la galería de base, se puede considerar que el grado de desgasificación de la longitud de capa explotada, incluida en la zona de influencia es del 100%, pasando la

concentración de grisú en capa desde el valor inicial a la concentración de grisú residual.

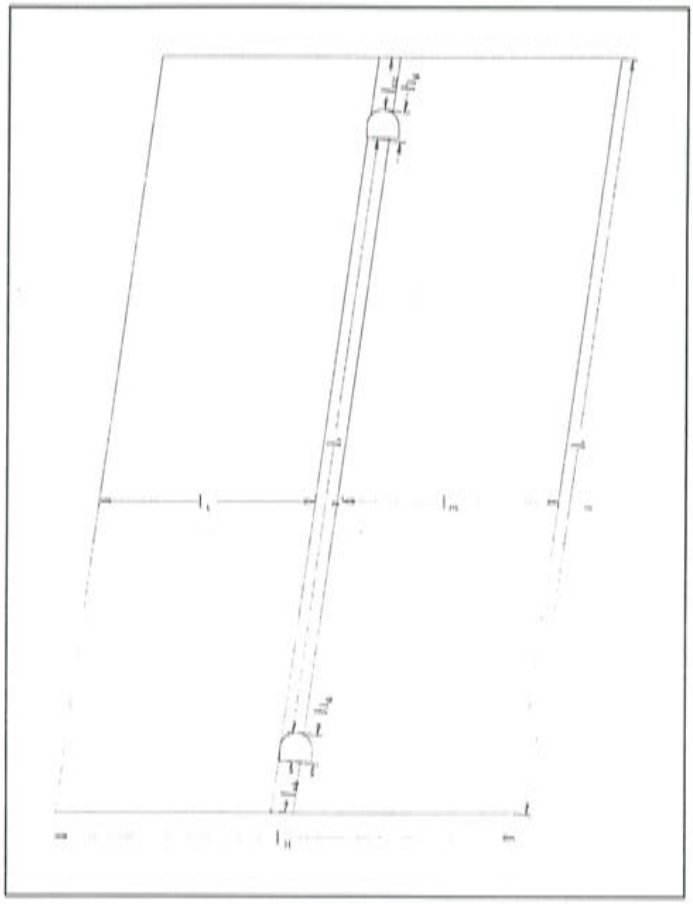

Figura 9. Zona de influencia de una explotación en una capa estrecha y vertical.

4.2.2 Capas adyacentes

El grado de desgasificación de las capas adyacentes depende de la distancia a la que se encuentran de la capa explotada. Esta dependencia se ha definido como una exponencial de la forma:

$$g_i(d) = e^{-kd}$$

siendo:

$g_i(d)$ grado de desgasificación de la capa considerada.

k constante que depende de las propiedades mecánicas de los hastiales.

d distancia a la que se encuentra la capa considerada de la capa explotada.

En el caso concreto de la explotación de una capa estrecha y vertical, la curva tiene la expresión:

$$g_i(d) = e^{-0.1d}$$

5. MODELO DE PREVISIÓN DEL DESPRENDIMIENTO

5.1 Hipótesis para la obtención del modelo

Las hipótesis que se han supuesto para la obtención del modelo de previsión del desprendimiento son las siguientes:

a. La labor está en un régimen constante de explotación, es decir, no se considera ni el inicio ni el final de la misma.

b. Existen puntos en los que la zona de influencia ya ha alcanzado su dimensión final.

c. Las características de la capa de carbón permanecen constantes a lo largo de toda la corrida del panel.

d. La zona influenciada por la explotación 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.

e. Para calcular el grado de desgasificación de las capas y carboneros incluidas en la zona de influencia, se toma la distancia del punto central de la capa o carbonero a la explotación.

f. Todo el gas susceptible de desprenderse de las capas y carboneros adyacentes, lo hace hacia la labor.

5.2 Modelo de previsión del desprendimiento

El grisú que se desprende hacia una labor minera procede del carbón arrancado y de la zona influenciada por la explotación. Respecto al grisú de la zona de influencia, éste viene tanto de la capa explotada como de las capas y carboneros incluidos en la misma.

Teniendo en cuenta la zona de influencia de la explotación y las curvas de desgasificación definidas anteriormente, se puede estimar el grisú que se desprende hacia la explotación y, a partir de él, el desprendimiento específico se calculará mediante la expresión:

$$S = K \frac{G_D}{P_c}$$

siendo:

- S desprendimiento específico (m^3/t_p).
- K constante, función de la irregularidad de la capa en cuanto a potencia, cenizas, densidad, concentración de gas, ritmo de avance, etc. Esta constante es la relación entre los valores del desprendimiento específico medido y estimado. En nuestro caso, $K = 1.35$.
- G_D grisú desprendido en la explotación (m^3).

P_c producción estimada (t_p).

La producción se estima mediante la siguiente expresión:

$$P_c = P \,.\, l \,.\, d \,.\rho \left(1 - \frac{Ce}{100}\right)$$

donde:

- P potencia de la capa (m).
- l longitud de la explotación, incluyendo la longitud del taller y la longitud de la capa en los frentes de las guías (m).
- d distancia avanzada tanto por el taller como por las guías (m).
- ρ densidad del carbón (t/m^3).
- C_e contenido en cenizas (%).

El grisú desprendido de la explotación se calcula mediante la expresión:

$$G_D = (C - C_t).P_c + (C - C_r).M_c + \sum_{i=1}^{n} g_i.C_{ij}.m_{ci}$$

donde:

- C concentración de grisú en capa (m^3/t_p).
- C_t concentración de grisú en el carbón transportado (m^3/t_p).
- P_c producción (t_p).
- C_r concentración de grisú residual (m^3/t_p).
- M_c masa de carbón influenciada por la explotación en la propia capa (t).

$$M_c = 2 \;\; d_g \; P.l_c.\rho \left(1 - \frac{C_e}{100}\right)$$

siendo:

l_c longitud influenciada tanto hacia la clave de la galería de cabeza como hacia la solera de la guía de base (m).

d_g distancia avanzada en las galerías.

C_e contenido en cenizas de la capa (%).

C_{ij} concentraciones iniciales de las capas y carboneros adyacentes (m^3/t_p)

g_i grado de desgasificación de los carboneros y capas adyacentes, dado por la curva de desgasificación.

m_{ci} masa de carbón influenciada por la explotación, perteneciente a las capas y carboneros incluidos en la zona de influencia (t).

$$m_{ci} = P_i \cdot \rho_i \cdot l_i \cdot d_t \left(1 - \frac{C_{ei}}{100}\right)$$

siendo:

P_i potencia de la capa o carbonero (m).

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

d_t distancia avanzada por el taller (m).

ρ_i densidad de la capa o carbonero (t/m^3).

C_{ei} contenido en cenizas de la capa o carbonero (%).

Por lo tanto, mediante este modelo es posible estimar el grisú que se desprenderá por tonelada arrancada.

6. VALIDACIÓN DEL MODELO

La última fase del presente proyecto de investigación ha sido la validación del modelo de previsión del desprendimiento de grisú desarrollado, la cual se ha realizado en un taller sobre la capa 24 Sur Izda de la empresa Minas de

Figaredo S.A.

La metodología seguida para la validación ha sido la misma que para el desarrollo del modelo, lo que permite, por un lado, conocer el desprendimiento de grisú real que se produce durante el laboreo y, por otro lado, determinar el valor de los parámetros necesarios para estimar el desprendimiento aplicando el modelo de previsión. De esta manera, se pueden comparar el desprendimiento medido en la explotación con el previsto por el modelo, observándose si la desviación entre ambos se encuentra dentro de los límites admitidos para este tipo de modelos.

En la Tabla VII se indican los desprendimientos teóricos estimados y los reales medidos en mina para los distintos periodos considerados.

Tabla VII

MES	S_{est}	S_{med}	$\frac{S_e - S_m}{S_m} * 100$
Abril	11.04	12.72	-13.2
Mayo	11.38	13.04	-12.7
Junio	11.14	18.33	-39.2
Septiembre	10.87	14.87	-26.9

Analizando los valores anteriores, se observa que las desviaciones entre el desprendimiento previsto por el modelo y el medido en mina es del orden del 20 %, salvo en el mes de Junio, en el que la desviación es considerablemente mayor. Esta desviación se debe a que el volumen de grisú que abandona la labor, calculado a partir del caudal de aire y del contenido de grisú en la atmósfera de la labor, no se puede considerar fiable, debido a que la velocidad del aire medida con el anemómetro de registro continuo fluctuaba entre valores muy dispares.

7. CONCLUSIONES

Las conclusiones más importantes obtenidas en el presente proyecto de investigación son las que se relacionan a continuación:

a. Se ha elaborado un modelo que permite estimar el desprendimiento medio de grisú que se va a producir durante la explotación mecanizada de una capa de carbón estrecha y vertical, en avance. Los parámetros considerados en el modelo son las características del carbón (densidad, contenido en cenizas), las características de la capa explotada (concentración de grisú en capa inicial, concentración de grisú residual, potencia) y las características de las capas adyacentes (concentración de grisú en capa, contenido en cenizas, densidad del carbón, potencia). Todos estos parámetros son fáciles de conocer y, por tanto, la estimación del desprendimiento de grisú se puede realizar de una forma fiable y económica.

b. Se ha definido el volumen de influencia, tanto de las guías como del taller, a partir de los resultados obtenidos en las mediciones de convergencias y en la modelización numérica. La zona de influencia se ha definido como un paralelogramo de lados, horizontales y paralelos a la traza del taller, cuyas longitudes se calculan, para distintas potencias e inclinaciones de capa, a partir de las expresiones obtenidas del análisis estadístico realizado con los resultados de la modelización numérica.

c. Se ha determinado el grado de desgasificación de las capas y carboneros influenciados por la explotación, mediante mediciones de la concentración de gas en capa y mediante la modelización numérica de la explotación. A partir de este valor se puede estimar el grisú que se desprenderá hacia la labor procedente de dichas capas.

Ciemat
Centro de
Investigaciones Energéticas,
Medioambientales
y Tecnológicas
Miner