

ESTIMACIÓN DEL RIESGO DE DESPRENDIMIENTOS INSTANTÁNEOS EN EXPLOTACIONES MINERAS CON UN SISTEMA BORROSO

Hilario López García, Ingeniero Industrial, Manuel José Suárez Fernández, Ingeniero de Minas, Antonio Robles Álvarez, Ingeniero Industrial, Ingeniería de Sistemas y Automática. Universidad de Oviedo

RESUMEN

La predicción de los desprendimientos instantáneos (D.I.) de carbón y gas es un objetivo tan antiguo como las propias explotaciones mineras. Es necesario conocer en todo momento el peligro potencial de que se produzca un D.I. para poder pasar así a tomar las correspondientes medidas de prevención. Tradicionalmente, la estimación del riesgo se realiza mediante el análisis de diferentes factores que se presentan en los trabajos mineros y, más recientemente, mediante la información proporcionada por la actividad microsísmica.

La compleja naturaleza del problema, y su habitual resolución basada en la experiencia hacen que la Lógica borrosa (*Fuzzy Logic*) se presente como una eficaz herramienta. En este trabajo se presenta un sistema de decisión borroso que recoge la información proporcionada por los índices más relevantes empleados en diferentes países, la cual se elabora proporcionando una evaluación más fiable y precisa sobre el riesgo de que se produzca el D.I.

1. Los desprendimientos instantáneos

Los desprendimientos instantáneos de carbón y gas (D.I.) consisten en la irrupción brusca y violenta de carbón y gas metano en el vacío creado por las labores mineras.

Las alteraciones que en el medio natural originan estas labores generan una reordenación del estado tensional del macizo hasta lograr un nuevo equilibrio, pudiendo manifestarse durante este proceso diferentes fenómenos que afectan a la estabilidad del hueco creado y, en consecuencia, a la seguridad de los trabajos.

El desprendimiento instantáneo de carbón y metano responde a una modificación del estado tensional del macizo de carbón, como consecuencia de la explotación, que genera las condiciones propicias para la disgregación del carbón próximo al frente y favorece la desorción intensa y súbita del metano.

Existen factores (unos naturales propios del yacimiento y otros provocados por la explotación) que incrementan la posibilidad de D.I.[3], co-

mo son la presencia de gas en el carbón, factores geológicos o el estado tensional. La interacción de estos factores determina que surjan condiciones críticas, particulares de cada explotación, a partir de las cuales se pueden generar los D.I.

Para la valoración de los factores enumerados se dispone de sistemas centralizados de control que nos proporcionan, en tiempo real, los va-

lores y evolución de los parámetros aislados.

En la actualidad, la estimación del riesgo de D.I. implica la intervención de un experto que valore cada uno de los factores de riesgo para la toma de decisiones.

Tanto la lógica borrosa como los sistemas expertos permiten el manejo de conocimientos de difícil formulación en términos precisos así como

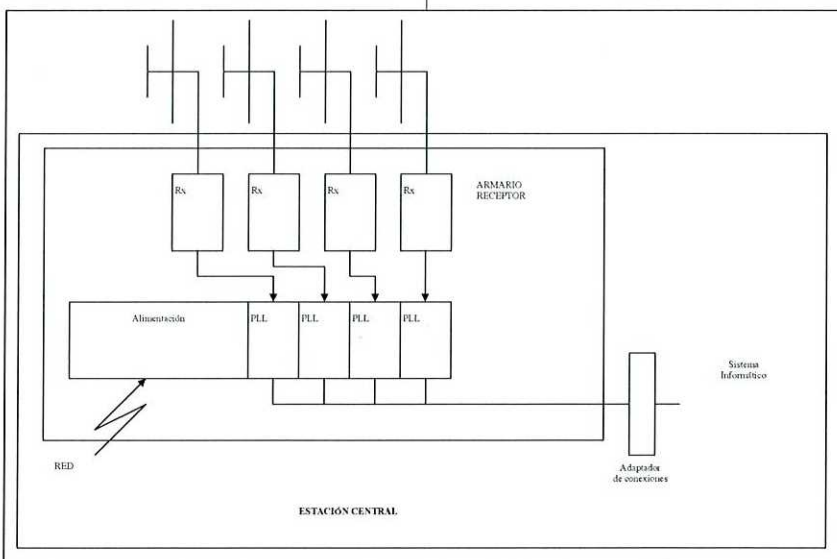


Fig. 1 Esquema de la estación central

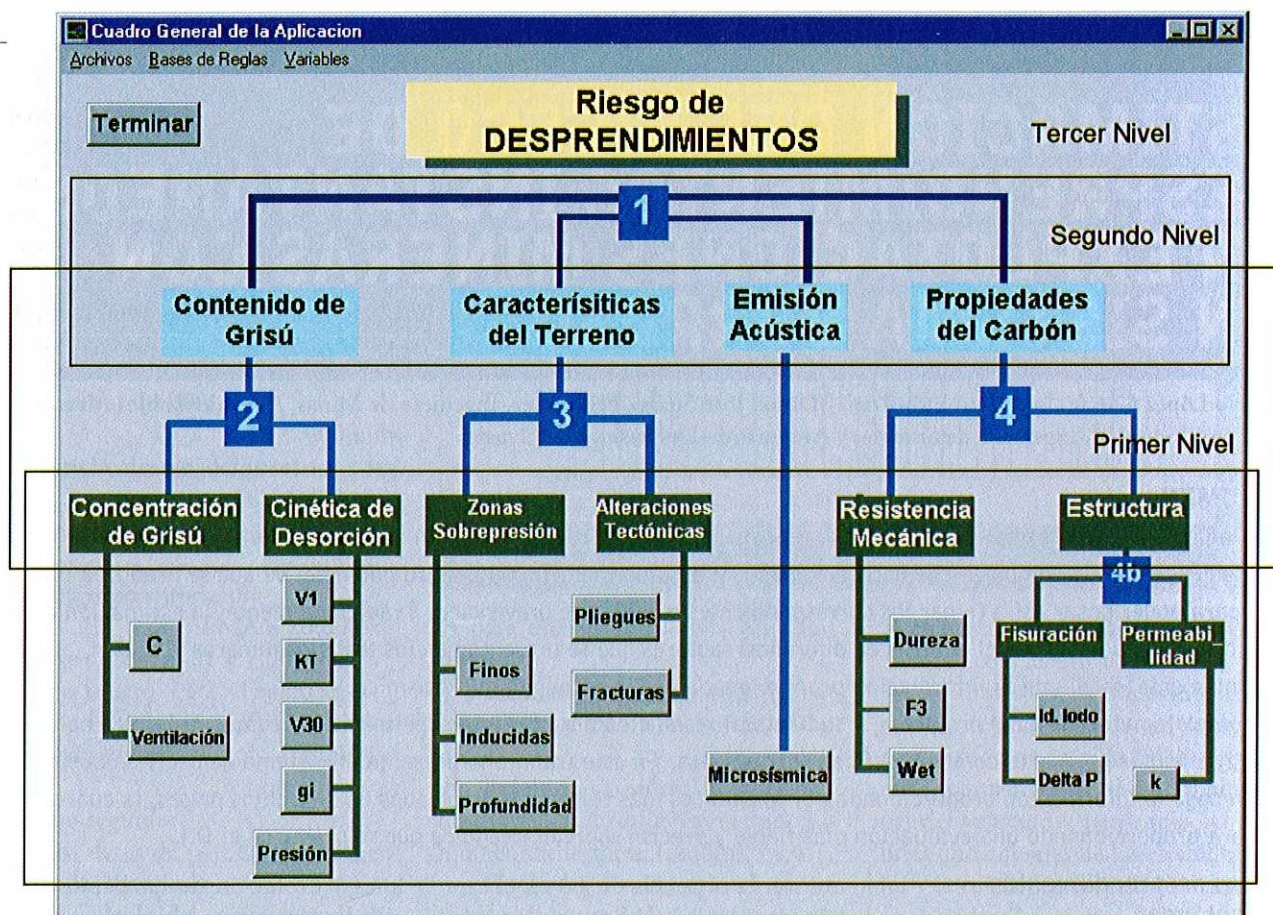


Fig. 2 Cuadro general de la aplicación

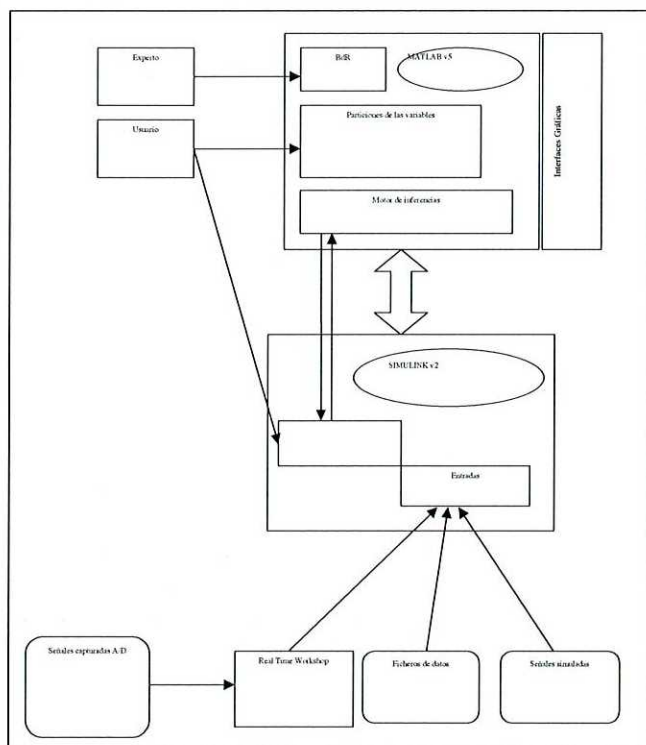


Fig. 3 Esquema de desarrollo de la aplicación

utilizar los conocimientos de los expertos. Así se ha desarrollado un sistema experto borroso (DIME) para la evaluación del riesgo de D.I. de carbón y gas en minería subterránea.

2. Control del riesgo de desprendimientos instantáneos

a) El control sismoacústico.

La mayor parte de los sólidos emiten señales sísmicas de bajo nivel energético cuando son sometidos a elevadas presiones o deformaciones. Este fenómeno, conocido con diferentes términos (emisión acústica, actividad microsísmica, ruido de la roca, choque elástico, radiación elástica, etc.), encuentra aplicación en diferentes disciplinas para conocer la estabilidad de estructuras sometidas a tensiones y/o deformaciones.

Una de ellas, desarrollada en los últimos años, es la caracterización del estado tensional de estructuras subterráneas, fundamentalmente mineras, donde recibe el nombre de emisión acústica/actividad microsísmica (AE/MS)[2][5]. Varios autores han estudiado la evolución de las características frecuenciales de la AE/MS en función de las solicitaciones, llegando a definir para cada tipo de rotura (microfisuración, macrofisuración, prerrotura) y cada material una banda de frecuencias particular. El análisis de los diferentes parámetros que caracterizan la

emisión acústica permitirá identificar los "eventos" propios del macizo y su cuantificación, tanto en número como en amplitud, podría indicar una alta actividad microsísmica premonitoria del D.I.

b) El control grisumétrico.

La explotación del yacimiento genera la liberación del gas contenido en el carbón que es evacuado por medio de la ventilación. Los sistemas centralizados de control grisumétrico permiten medir y registrar la evolución de las concentraciones de gas en las diferentes zonas de la mina. El contenido en grisú en el carbón y su velocidad de desorción son índices importantes para valorar el riesgo de D.I.

c) Control de las zonas de sobretensión.

Durante los trabajos mineros las sobretensiones se localizan en los bordes de tajo y en los macizos, mientras que aparece una zona distendida en el hueco creado. Este estado tensional se transmite al macizo circundante creando en las capas supra y subyacentes zonas de sobretensión o dis-

tensión que es preciso valorar puesto que representan un riesgo adicional.

3. Sistema de decisión borroso para la evaluación del riesgo de D.I.

Tanto la información procedente de la escucha sismoacústica, como la aportada por los diferentes factores de riesgo deben confluir para valorar el riesgo de D.I. Si se pretende automatizar total o parcialmente esta tarea, que involucre la experiencia acumulada por el experto, es preciso emplear técnicas que permitan tratar de forma adecuada este conocimiento heurístico.

La característica más relevante del sistema que nos ocupa es la incertidumbre o imprecisión. No existen umbrales a partir de los que se pueda asegurar que el D.I. es inminente ni otros por debajo de los que no sea posible. Por otra parte, el peso de cada uno de los factores de riesgo es difícilmente evaluable.

Así pues, hemos de disponer de medios para operar - razonar - con conocimiento impreciso, campo

este en el que los recientes sistemas de control inteligente se presentan como una herramienta con indudables ventajas, lo que justifica su aplicación en el problema presentado.

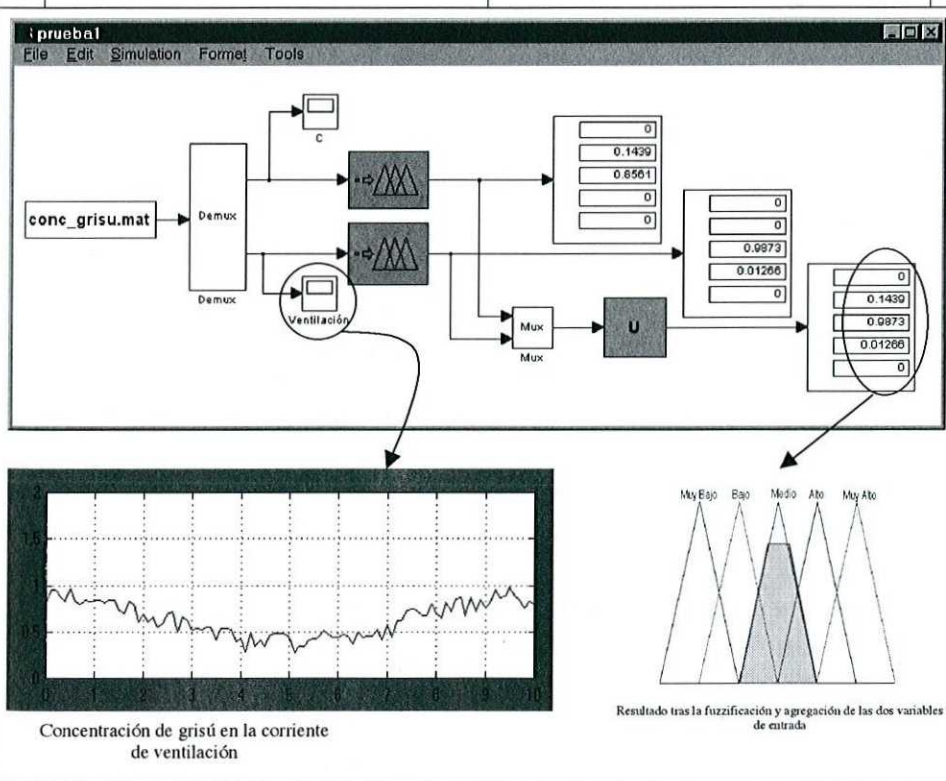
Desde la consecución de las primeras aplicaciones prácticas (el control de un sistema de vapor por el profesor E. H. Mamdani, del Queen Mary College) de lo que hoy se denomina *Fuzzy Systems* o Sistemas borrosos, se ha generado un hasta hoy creciente interés por las posibilidades de dicha teoría para resolver problemas que, caracterizados por la imprecisión, se resisten a métodos basados en la matemática (y lógica) clásica.

4. DIME: Sistema borroso desarrollado

La investigación desarrollada pretende superar esta limitación y, en consecuencia, la completa autonomía del sistema de control para la detección del riesgo de D.I., en base a las caracterizaciones y criterios especificados anteriormente, disponiendo de la información en tiempo real que en la actualidad suministran cuatro estaciones de medida en los puntos de control a una estación central (vía radio) situada en las oficinas de Hunosa.

En dicha estación central (cuyo esquema se muestra en la figura 1) se puede incorporar un sistema informático que consta de un sistema de adquisición de los datos suministrados por las estaciones de medida, conectado a una estación de trabajo dotada del *software* necesario que efectuará los cálculos a partir de los datos adquiridos en tiempo real. En dicha figura se observa asimismo el armario receptor con la alimentación y los módulos Rx de recepción y PLL de acondicionamiento.

Fig. 4 Tratamiento de variables del grupo Concentración de grisú



El sistema desarrollado (Fig.2) se halla jerarquizado en tres diferentes capas. En la base, primera capa, se encuentran los diferentes parámetros considerados, de los que se obtendrán los cuatro conjuntos de la segunda capa tras un proceso de inferencia borrosa. Estos cuatro conjuntos también sufrirán una inferencia borrosa que dará lugar a la última capa en la que se obtiene una valoración del riesgo de desprendimientos instantáneos.

Los nodos numerados de la figura serán los puntos en que se llevarán a cabo las inferencias borrosas, a partir de las variables que llegan a los mismos y de una base de reglas asociada a cada uno de los nodos. Previamente se habrá realizado una operación de composición de todas variables relacionadas entre sí.

El sistema desarrollado se ha implementado íntegramente en *Matlab*, utilizando *Simulink* y *Fuzzy Logic Toolbox*. Se dispone de un interfaz gráfico para el usuario en el que se introducirán las particiones de todas las variables que se han considerado, así como las bases de reglas que el experto haya indicado. La simulación del sistema se realiza desde *Simulink*, software para el que se han desarrollado una serie de bloques específicos para el tratamiento borroso de la información.

A partir de estos bloques, y de los existentes en *Simulink*, se ha construido el esquema de simulación (Fig. 3), con las mismas capas que se veían anteriormente. De esta manera, la ventana principal contendrá la información de la tercera capa, desde donde se podrá descender a la segunda (a través de los cuadros correspondientes a los nombres de las variables de dicha capa) y, desde esta última, a la primera.

Si en el cuadro general de la aplicación se configuraban las distintas particiones de las variables así como

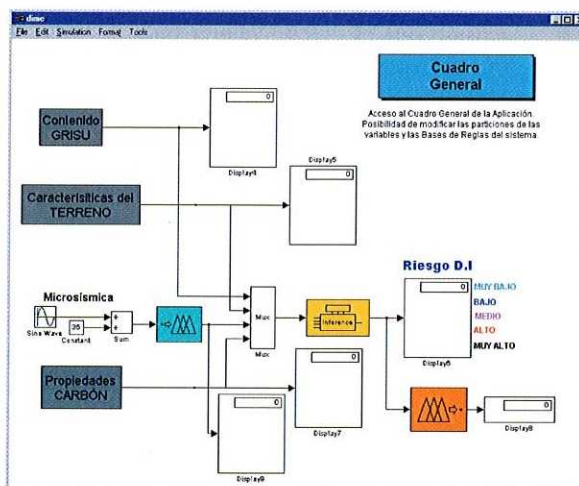


Fig. 5 Último nivel del sistema de inferencias borroso

las bases de reglas del sistema, bajo *Simulink* se determinarán los orígenes de las diferentes entradas de las variables (ficheros, variables, señales adquiridas a través de la *Real Time Workshop*, señales generadas por el propio *Simulink*...).

En la figura 4 se muestra una de las primeras etapas en la simulación, en concreto la referente a la fuzzificación y agregación de las variables del grupo Concentración de grisú implementadas bajo *Simulink*. La gráfica inferior del esquema representa la señal de entrada de la variable Concentración de grisú en la ventilación. Igualmente se puede monitorizar arriba la variable Concentración desorbible de grisú.

Ambas son fuzzificadas en cada período de muestreo (las pantallas situadas a la derecha indican los grados de pertenencia a cada una de las particiones de las variables y de la unión de las mismas tras la fuzzificación). En este caso, y como se muestra en el esquema de *Simulink*, ambas entradas proceden de un fichero externo.

Como resultado de estas dos operaciones, fuzzificación y agregación, se obtendrá, para cada período de muestreo, un conjunto borroso como el indicado. Por último, habrá que realizar la inferencia final de la tercera capa para determinar el riesgo de desprendimientos instantáneos de

la explotación minera. El resultado de esta inferencia, al igual que en los casos anteriores, será un conjunto borroso que se podrá *defuzzificar* (método del centro de gravedad) para obtener una valoración numérica de dicho riesgo.

La figura 5 es la que recoge el interfaz de entrada del usuario y representa la última capa de las tres descritas. Desde esta ventana podrá lanzar la simulación (opción *Start* del menú *Simulation*), y también podrá

saltar al cuadro general de la aplicación mediante la pulsación del botón de la parte superior derecha. El resultado de la simulación completa del sistema aparece en la pantalla bajo el epígrafe Riesgo D.I. en forma borrosa, y también de forma "concreta" tras haber sido defuzzificado el número borroso anterior.

Referencias

- 1.- G.R. Baker-Read, S.Li, "An overview of the application of expert system technology in the mining industry". Luma, Leeds University Mining Association, 1992, pp 131-138.
- 2.- H.R. Hardy, "Stability monitoring of underground structures using Acoustic Emission techniques". Symposium on Seismicity in Mines. Johannesburg, 1984.
- 3.- A.J. Hargraves, "Update on instantaneous outbursts of coal and gas". Proc. AusIMM, 198, nº 2 Nov., 1993, pp. 3-17.
- 4.- R.D. Lama, J. Bodziony, "Sudden outburst of gas and coal in underground coal mines: Final report". Report nº ACARP-C4034, AMIRA, Melbourne Victoria, 1996.
- 5.- P. Styles, T. Jowitt, E. Browning "Surface microseismic monitoring for the prediction of outburst". 22 Int. Conf. Safety in Mine Research. Beijing. China, 1987.
- 6.- L.X. Wang, Adaptive Fuzzy Systems and Control, New Jersey, Prentice Hall, 1994. ■