

METODOLOGÍA PARA LA EXPLORACIÓN DE GAS ASOCIADO AL CARBÓN (GMAC O CBM) EN LAS CUENCAS CARBONÍFERAS DE COLOMBIA

(Methodology for the exploration of coal bed methane (CBM) in Colombia coal basins)

***Jorge E. Mariño, **Lucila Mojica A.**

*Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Escuela de Ingeniería Geológica, Jorge.marino@uptc.edu.co,
**Departamento de Geología, Universidad EAFIT, lucila.mojica24@hotmail.com

(Recibido 23 de Junio de 2012 y Aceptado 13 de Marzo de 2013)

Resumen:

Normalmente se considera que los gases comercializables están exclusivamente asociados al petróleo, pero las investigaciones han demostrado que el carbón es una fuente generadora considerable de gas metano en grandes volúmenes (CBM). Colombia cuenta con un buen potencial en reservas de carbón, y se espera que contengan suficientes reservas de CBM que puedan comercializarse durante los próximos años. Este artículo presenta las metodologías estandarizadas de CBM utilizadas en el laboratorio de materiales, carbón y gas asociado al carbón de la UPTC, seccional Sogamoso.

La minera colombiana ha presentado tradicionalmente el gas metano (grisú) como un factor de riesgo debido a las explosiones ocasionadas por las emisiones de gas en muchas minas ubicadas en las zonas carboníferas de Colombia, pero esas explosiones y accidentes han llevado a algunos a considerar el CBM como un recurso energético. Por ese interés, es que el objetivo principal de esta investigación se ha centrado en adaptar y establecer dichas metodologías y procedimientos que se deben utilizar para determinar el contenido de gas metano mediante el uso de equipos *canisters*. Estos *canisters* y sus equipos adicionales se han adecuado y mejorado en la UPTC por el grupo de Investigación de Ingeniería Geológica, durante los últimos años.

Las guías se han realizado siguiendo los conocimientos actuales que hay sobre CBM, y se han propuesto recomendaciones adicionales para hacer más confiable el muestreo y la medición del gas en los diferentes proyectos de exploración de CBM que se están desarrollando actualmente en las diferentes cuencas carboníferas de Colombia.

Palabras clave: carbón, metano, *canister*, prueba de desorción, gas asociado al carbón (CBM, GAC o GMAC).

Abstract:

It is usually considered that commercial gas was only related to oil, but research has demonstrated that coal generates great volumes of methane and other gases (CBM). Colombia has big coal reserves, and it is expected that those coals contain enough CBM reserves that can be marketed in the next years.

This article presents the CBM methodologies used in the laboratory of materials, coal and gas, which is located in the UPTC-Sogamoso.

The Colombian mining has traditionally presented the methane as a risk factor during the mining labors, but the gas explosions due to methane has forced some to consider the CBM as an energy resource. Because of that interest, the main objective of this research has focused on adapting and establishing the methodologies and the procedures that should be used to determine the methane gas content by using desorption tests canisters. The canisters and their additional equipment have been adapted and improved in the UPTC by Geological Engineering research group during the last years.

These CBM guides have been written following the current knowledge on CBM and propose additional recommendations for making the sampling and gas measuring more reliable and supportive of the CBM exploration projects that are taking place in the different coal basins in Colombia.

Keywords: coal, methane, canister, desorption test, coal bed methane (CBM).

1. INTRODUCCIÓN

Gas metano asociado al carbón (GMAC o GAC) o *Coalbed Methane (CBM)*, son los términos utilizados para denominar el gas metano y otros gases generados y acumulados por el carbón durante el proceso de carbonificación o maduración de la materia orgánica (Bratton, 2006). El CBM es un gas natural producido durante el proceso de transformación de materia vegetal en mantos de carbón. La mayor parte de este gas permanece en los mantos de carbón, razón por la cual este último es tanto roca fuente como roca yacimiento, y parte de este gas puede migrar a rocas adyacentes como areniscas o *shales*. Altas presiones debajo de la superficie conservan el gas metano en la matriz del carbón en un estado de adsorción y absorción. Esta alta presión es creada tanto por la profundidad como por el agua que está contenida en la matriz del carbón.

El metano puede encontrarse almacenado en los carbones, en una de estas formas:

- Como gas disuelto en el agua de la formación.
- Como gas libre dentro de las fracturas o poros.
- Como moléculas de gas absorbidas en el carbón.

La acumulación del metano en los mantos de carbón constituye el factor esencial para el incremento de la presión de gas en los mismos (Mariño, 2010).

El propósito de este artículo es dar a conocer las guías metodológicas que han sido mejoradas e implantadas en el Laboratorio de Materiales, Carbón, Gas Asociado al Carbón y Shales Carbonosos, con el apoyo de COLCIENCIAS y la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH). Estas guías metodológicas apoyan el proyecto de cualquier empresa que se interese por explorar el contenido de CBM, ya que en la primera etapa se pretende conocer mediante los métodos directos -como el contenido de gas por medio de pruebas de desorción con el equipo *canister*-, a fin de brindar información básica para determinado proyecto de acuerdo con los resultados. Dichos contenidos permiten decidir si se continúa con la siguiente fase de exploración-explotación de gas.

Se decidió hacer esta publicación porque los textos publicados sobre el tema son muy generales en procedimientos y recomendaciones (Branton et al., 2006; Close et al., 1989; Diamond & Chatzel, 1997; Mojica, 2010).

2. ANTECEDENTES

A continuación se presentan los antecedentes sobre el CBM, así como la metodología de la prueba de desorción en campo y la utilizada para determinar el contenido de gas en el laboratorio.

El contenido de CBM se puede medir de manera indirecta, a partir de los parámetros de calidad del carbón, como reflectancia de la vitrinita, materia volátil, etc., que evalúan la calidad del carbón, aunque se prefieren los métodos directos que miden directamente el contenido de gas sobre el carbón. El método directo -más conocido como de medición directa- es una prueba de desorción con el equipo *canister*, que consiste en medir la cantidad de gas que tiene una muestra de carbón mediante la desorción de núcleos de perforación en una cámara hermética conocida como *canister*.

Parámetros medidos en los métodos directos:

Consisten en medir la cantidad de gas que tiene una muestra de carbón, mediante las pruebas de desorción con el equipo *canister*, teniendo en cuenta la siguiente fórmula:

$$\text{CONTENIDO DE GAS} = \text{gas perdido} + \text{gas desorbido} + \text{gas residual}$$

Gas perdido: corresponde al gas escapado del carbón, entre el tiempo en que el manto de carbón es penetrado por la broca y el tiempo en que la muestra es colocada y sellada dentro del *canister* (recipiente hermético). Determinado de la extrapolación de los datos de la prueba de desorción las dos primeras horas. Este contenido de gas puede ser calculado por los métodos del *U.S. Bureau of Mines* (Diamond & Levine, 1981) y de Smith y Williams (1984), expresados en cm^3/gr o pies^3/Ton .

Método de U.S Bureau of Mines: este método fue desarrollado por Diamond y Levine en 1981. Se asume que durante las primeras horas desorción, la cantidad de gas liberado es proporcional a la raíz cuadrada del tiempo de desorción. Al graficar el volumen de gas desorbido a condiciones estándares, en función de la raíz cuadrada del tiempo, se obtiene una curva con un sector recto. El sector recto de la curva se extrapola a tiempo cero, representando el inicio de periodo de pérdida de gas (Figura 1). Se acepta que la desorción empieza cuando el carbón es penetrado por la broca.

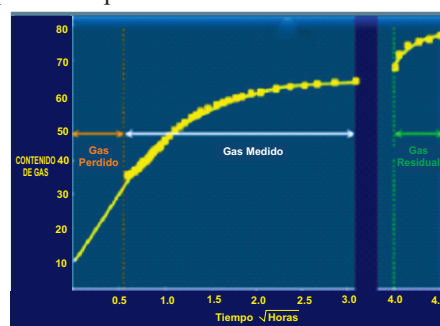


Figura 1. Curva de desorción contenido de gas medido, gas perdido y gas residual (Morad, 2007)

Método de Smith y Williams: este método, desarrollado por Smith y Williams (1981), determina el gas perdido incorporando la difusión de la estructura bidispersa de poro, opuesta a la difusión uniporo del método directo. Este método proporciona un estimativo más exacto del gas perdido cuando los tiempos de desorción son cortos, y es más preciso para valores de pérdida de gas por encima del 50 %, para un factor máximo de corrección 2. No se considera el gas residual. Aunque este procedimiento se desarrolló para trabajar con ripios, aplica muy bien con núcleos. Emplea una ecuación compleja de difusión del gas, la cual considera el tiempo en que la muestra alcanza la superficie (td), el tiempo empleado para sellar la muestra en el recipiente (ts), y el tiempo para desorber el 25 % del gas (t25)

STR = la razón de tiempo de superficie = (ts - td)/ts

LTR = la razón de tiempo perdido = ts/t25

Estas dos razones dan el factor de corrección que se halla en la Figura 2 para la ecuación de contenido de gas: contenido de gas del carbón = gas desorbido * factor de corrección

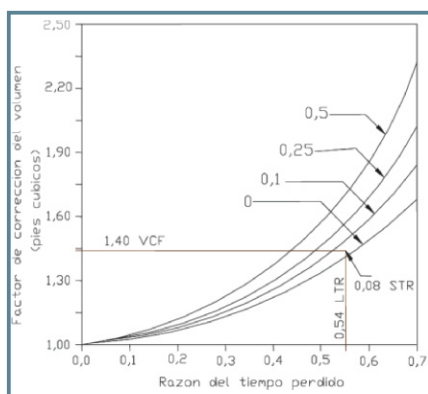


Figura 2. Factor de corrección del volumen de Smith y Williams (1981).

Gas desorbido: es el gas medido en la prueba de desorción, el cual está adsorbido en la muestra de carbón. Se determina empleando los *canisters* (recipientes sellados herméticamente), en los cuales las muestras de carbón son introducidas y selladas; posteriormente, estos *canisters* se conectan a la bureta, a fin de medir la desgasificación del carbón. Se abre la válvula que permite la salida del gas, el cual es medido por el desplazamiento del agua en una columna volumétrica en la bureta a temperatura ambiente y presión atmosférica. Se reporta como centímetros cúbicos por gramo de carbón (cm³ gas/gr carbón), o también en pies cúbicos por tonelada de carbón (pies³/ton carbón). La determinación del gas desorbido corresponderá a la suma de todos los volúmenes medidos en esta prueba.

Gas residual: es el gas que permanece atrapado, absorbido en la matriz del carbón, después de haberse completado la prueba de desorción. Este contenido de gas se expresa en cm³/gr o pies³/ton, a presión y temperatura estándares (STP). Esta medición se hace retirando la muestra de carbón del *canister* y partiéndola en cuartos. Se toma una de estas partes y se coloca en un contenedor para mezclas de gases o en un molino de bolas o rodillos, el carbón es pulverizado en un tiempo comprendido entre quince y sesenta minutos. El contenedor debe ser sellado herméticamente y conectado a un manómetro para medir el contenido de gas residual. Este gas residual es sumado al volumen total de los gases liberados (gas perdido y gas desorbido), todos corregidos a STP.

3. METODOLOGÍA MUESTREO DE PERFORACIÓN

En un programa de perforación para un yacimiento carbonífero, se pueden tener muestras de núcleo y de ripios. Las muestras de núcleos se obtienen mediante perforación con taladro, con un diámetro de la muestra entre una y tres pulgadas, por el espesor del manto.

Por la experiencia adquirida en proyectos de investigación de CBM (Mojica, 2010; Fonseca & López, 2003;) adelantados por la UPTC y utilizando equipos *canister* diseñados en PVC por el grupo de investigación, se elaboró la siguiente metodología:

Procedimiento

- ✓ Se pesa cada uno de los *canisters* vacíos en el laboratorio.
- ✓ Antes de llegar a la perforación, se revisan los equipos y se hace la prueba de hermeticidad, que consiste en:
 - Revisar el equipo *canister* y reemplazar accesorios, si estos se encuentran en mal estado, como el empaque, el indicador de presión, la válvula y los diferentes acoples; además se debe limpiar el equipo *canister* para evitar posible contaminación de la muestra de carbón.
 - La prueba de hermeticidad consiste en tapan el *canister* e inyectarle aire con la bomba de bicicleta través de su acople de conexión, que se encuentra en la tapa. Se cierra la válvula y se registra la lectura del medidor de presión. Luego se sumerge en agua para detectar posibles fugas. Si las hay, la lectura del medidor de presión descenderá después de un tiempo; evento en el cual, se debe reparar y probar nuevamente.

- Cada *canister* debe estar enumerado.

3.1 Metodología de la prueba de desorción en campo

- ✓ En el lugar de la perforación, determinado por un estudio geológico, se prepara la bureta con el agua coloreada hasta el volumen inicial, el cual puede ser arbitrario de acuerdo con la capacidad de la bureta (Figura 3).

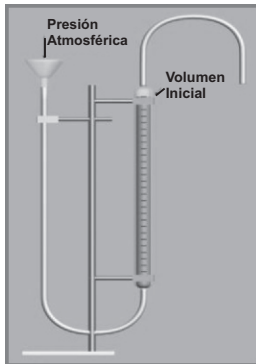


Figura 3. Montaje de la bureta con el volumen inicial (nivel inicial)

- ✓ Se preparan los *canisters* y se registra la información sobre el manto de carbón, junto con las coordenadas del pozo.
- ✓ Se registran los tiempos en que se empieza y termina de perforar el manto de carbón, así como el tiempo en que se comienza a subir el núcleo de perforación y el tiempo de llegada a superficie.
- ✓ Se recolectan los núcleos de perforación de los mantos de carbón, los cuales son lavados rápidamente con agua para remover el lodo de perforación y evitar que se contamine la muestra.
- ✓ Se describe el manto completo (tamaño y compactación de la muestra) y se selecciona una muestra representativa del manto del carbón, triturándola un poco para facilitar el desplazamiento del gas.
- ✓ Inmediatamente la muestra es introducida en uno de los *canisters*.
- ✓ Para evitar que dentro del *canister* quede aire y genere alteraciones en los resultados, se recomienda que este se llene totalmente de carbón, o que se llene de agua hasta un nivel que indique no más de la mitad del equipo; aunque también se puede utilizar un material inerte que no contamine la muestra (se sugiere utilizar canicas de vidrio para llenar esos espacios vacíos).
- ✓ Se cierra bien el *canister* con la llave para tubo, aplicando cinta teflón en la rosca del *canister*.

- ✓ Se comprueba que el sellado del *canister* no presente ninguna fuga. Esta prueba se efectúa en campo, de la siguiente manera:

Antes de perforar el manto de carbón, se debe preparar un recipiente lleno de agua, y, después de obtener la muestra, se introduce cada uno de los *canisters* que contenga muestra de carbón y se verifica que no se esté produciendo ningún escape. Si esto llegase a pasar, se identifica el escape e inmediatamente se corrige con la silicona.

Prueba de desorción en campo:

Consiste en medir la desgasificación del carbón, conectando la bureta al *canister* y abriendo la válvula de este que permite la salida del gas, el cual es medido por el desplazamiento del agua en una columna volumétrica (bureta).

Procedimiento

- ✓ La bureta se ubica en un plano totalmente horizontal con el volumen inicial de agua coloreada (Figura 3).
- ✓ Se conecta el *canister* a la bureta a través de la manguera flexible (Figura 4).

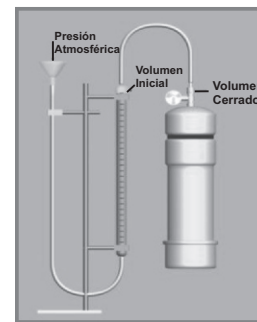


Figura 4. Montaje de la bureta conectada al *canister* antes de abrir la válvula.

- ✓ Se registra la hora, la temperatura y la presión.
- ✓ Se abre la válvula del *canister*, y si presenta succión, debe ser cerrada inmediatamente. Se registra la cantidad de gas succionado, la cual se le resta a las lecturas acumulativas del gas desorbido.
- ✓ Si no presenta succión, se registra la primera lectura de gas desorbido (volumen final desplazado en la columna de agua de la bureta).
- ✓ Se registra la hora, la temperatura y la presión.
- ✓ Se abre la válvula del *canister*, y si presenta succión, debe ser cerrada inmediatamente. Se registra la cantidad de gas succionado, la cual se le resta a las lecturas acumulativas del gas desorbido.
- ✓ Si no presenta succión, se registra la primera lectura de gas desorbido (volumen final desplazado en la columna de agua de la bureta).

$$\text{Gas desorbido (cm}^3\text{)} = \text{volumen final} - \text{volumen inicial}$$

Volumen inicial = punto cero en la bureta (arbitrario dependiendo de la capacidad de la bureta).

- ✓ Se vuelve a cerrar la válvula y se desconecta la manguera del *canister*, se espera a que se establezca el volumen inicial en la bureta (Figura 5).

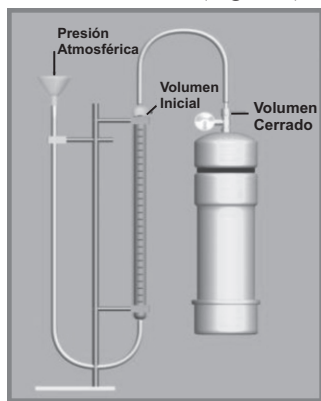


Figura 5. Montaje después de la primera medición (estabilidad del volumen inicial)

- ✓ El procedimiento se repite cada quince minutos durante las dos primeras horas.

3.2 Metodología contenido de gas en el laboratorio

La prueba se lleva a cabo en el laboratorio de materiales gas asociado al carbón, en donde se mide por medio de la prueba de desorción, el gas desorbido de cada *canister* obtenido del muestreo en campo. Esta prueba puede durar alrededor de dos meses, dependiendo de la cantidad de gas que esté adsorbido en el carbón.

Procedimiento

- ✓ En el laboratorio se pesa cada *canister* con su respectiva muestra sellada herméticamente en su interior.
- ✓ La experiencia en estos análisis ha mostrado que una vez llevados los *canisters* al laboratorio, estos deben mantenerse en un tanque con un sistema de termostato para mantener la temperatura constante y simular la temperatura del yacimiento.
- ✓ Se realiza el montaje del equipo de medición *canister* (bureta y el *canister*), ya sea a presión y temperatura ambiente o simulando la temperatura del yacimiento en un sistema de termostato. Los siguientes pasos se muestran en las figuras anteriores.
- ✓ Se conecta la bureta al *canister* y se continúa con la prueba de desorción abriendo la válvula del *canister* y registrando el volumen desplazado en la bureta; se toman los datos de temperatura, presión, fecha y hora.

- ✓ Se vuelve a cerrar la válvula y se desconecta la manguera del *canister*, se espera a que se establezca el volumen inicial en la bureta. El procedimiento se repite para las próximas mediciones a intervalos de tiempo cada vez más largos, dependiendo de la cantidad de gas en cm^3 que se desplace en la bureta, hasta llegar a un volumen de gas metano prácticamente nulo (esta medición para calcular el gas desorbido puede tardar meses, según el contenido de gas que esté adsorbido en la muestra de carbón).

Procedimiento para calcular el gas perdido

- ✓ El cálculo de gas perdido es un dato aproximado que se obtiene en campo mediante la prueba de desorción.
- ✓ Se grafica el volumen acumulado de gas desorbido (eje vertical) versus raíz cuadrada de tiempo acumulado de desorción (eje horizontal). En el eje horizontal se ubica la raíz cuadrada del tiempo acumulado (horas y minutos en fracciones decimales de horas) y en el eje vertical, los valores del contenido de gas (pie^3/ton) en condiciones estándar de presión y temperatura (STP).

Se calcula el tiempo de gas perdido, de la siguiente forma:

- Tiempo de gas perdido = tiempo de sellado del *canister* (horas y minutos en fracciones decimales de horas) – tiempo de perforación del manto (horas y minutos en fracciones decimales de horas)
- Se halla la raíz cuadrada del tiempo de gas perdido.
- Se ubica el valor hallado en el paso anterior, en el eje raíz cuadrada de tiempo (eje horizontal), y se proyecta verticalmente hasta cortar la curva de desorción.
- El punto de intersección se proyecta horizontalmente hasta el eje volumen acumulado de desorción, obteniendo así el valor correspondiente al volumen de gas perdido.

Procedimiento para calcular el gas residual

Cuando la desorción se ha completado, el gas residual en el carbón puede ser medido.

- ✓ Se retira la muestra de carbón del *canister* y se parte en cuartos.

- ✓ Se toma una de estas partes y se coloca en un contenedor para mezclas de gases o en un molino hermético. El carbón es pulverizado en un tiempo comprendido entre quince y treinta minutos.
- ✓ El contenedor debe ser sellado herméticamente y conectado a un manómetro, para medir el contenido de gas residual.
- ✓ Este gas residual es sumado al volumen total de los gases liberados (gas perdido y gas desorbido), todos corregidos a STP.

4. CONCLUSIONES

La elaboración de la metodología de gas metano asociado al carbón, mediante las pruebas de desorción con el equipo *canister*, brinda la ayuda y el conocimiento para estudios de investigación en el contenido de gas de una muestra de carbón.

Por medio de la investigación recopilada de CBM, se logró conocer la importancia que tiene como generador de energía y las ventajas que este podría ofrecer al explorar el contenido de gas que puede estar presente en una muestra de carbón de un yacimiento determinado.

Si se tiene en cuenta que en Colombia hay grandes reservas de carbón, esta metodología significa un aporte para las investigaciones en los yacimientos de este mineral, pues posibilita el conocimiento del contenido de gas que adsorbe una muestra de carbón y la determinación de zonas con gran potencial de gas metano.

El aporte al conocimiento sobre CBM, se realiza mediante el proyecto “Actualización y ampliación del laboratorio de carbones, gas asociado y shales carbonosos”, en el cual esta metodología ha sido utilizada y probada en diferentes estudios sobre gas metano asociado al carbón.

5. AGRADECIMIENTOS

- A la Red Nacional de laboratorios de Geociencias (RNLG).
- A la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Dirección de Investigaciones).
- Al proyecto “Actualización y ampliación del laboratorio de carbones, gas asociado y shales carbonosos, Contrato RC 669 de 2009”, financiado por ANH, COLCIENCIAS y la UPTC.
- A Paola Granados Cely, por su apoyo y colaboración.
- A Alberto Ángel Botero, del Laboratorio de Química.

6. REFERENCIAS

- Bonett, M. J. & Rodríguez, A. (1996). *Tecnología aplicada a la explotación del metano proveniente de los mantos de carbón. Estado del arte*. S.l.: s.n., 270 p.
- Bratton T. et al. (2006). La naturaleza de los yacimientos naturalmente fracturados. *Oldfield Review*, 12 (1).
- Close, J. C. & Erwin, T. M. (1989). Significance and determination of gas content data as related to coalbed methane reservoir evaluation and production implications, paper 8922. *Coalbed Methane Symposium*. The University of Alabama, Tuscaloosa, Alabama.
- Diamond, W. P. & Levine, J. R. (1981). *Direct Method Determination of the gas content of coal: Procedures and results*. RI 8515. Pittsburgh, PA: U.S. Dept. of The Interior, Bureau of Mines.
- Diamond, W. P. & Schatzel, S. J. (1998) Measuring the gas content of coal: A review. *International Journal of Coal geology*, 35, 311-331.
- Fonseca, J. A. & López, L. C. (2003). *Determinación del bloque con mejores posibilidades de gas asociado al carbón (GAC) de la zona carbonífera ubicada al nororiente del municipio de Sogamoso en el departamento de Boyacá*. Trabajo de grado en Ingeniería Geológica. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Escuela de Ingeniería Geológica, Sogamoso,
- Mojica, L. 2010. *Manual para la medición de gas asociado al carbón (gmac) mediante pruebas de desorción con el equipo canister*. Trabajo de grado en Ingeniería Geológica. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Escuela de Ingeniería Geológica, Sogamoso.
- Morad, K. (2007). *Coalbed methane: Reservoir engineering fundamentals*. Technical presentation. Canada: Fekete Technical Video Series.
- Smith, D.M. & Williams, F. L. (1981). A new technique for determining the methane content of coal. *Proceedings of the 16th symposium of the intersociety energy conversion engineering*. New York, NY: Conf. Am. Soc. Mech. Eng. p. 1272-1277.
- Mariño, J. E. (2010). *Estudios preliminares del gas asociado al carbón en Boyacá*. Documento de ascenso en el escalafón, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Seccional Sogamoso.