



REFERENCIAS

- Ahmed, T. & Mckinney, P. (2005). *Advance Reservoir Engineering*. Oxford, England: Elsevier.
- Amaya, E., Mariño, J. & Jaramillo, C. (2010). *Litofacies y ambientes de acumulación de la Formación Guaduas en la parte central de la cordillera Oriental, implicaciones paleo-geográficas*. *Boletín de Geología*, 3(21).
- American Society for Testing and Materials -ASTM- (1977). Standard specification for classification of coals by rank, D 388-77. In *Annual Book of ASTM Standards. Part 26. Gaseous Fuels: Coal and Coke. Atmospheric Analysis*. (pp. 214–218). Philadelphia, PA: ASTM.
- Barker, C., Johnson, R., Crysdale, B. & Clark, A. (1991). *A field and laboratory procedure for desorbing coal gases*. USGS Open-File Report 91-563. USA: United States Department of the Interior, Geological Survey.
- Bertard, C., Bruyet, B. & Gunther, J. (1970). Determination of Desorbable Gas Concentration of Coal (direct method). *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 7, 43-65.
- Bonett, M. & Rodríguez, A. (1996). *Tecnología aplicada a la explotación del metano proveniente de los mantos de carbón, estado del arte*. Proyecto de grado Ingeniería de Petróleos UIS, Santander, Colombia.

-
- British Petroleum -BP- (2014). *Statistical Review Workbook*. Retrieved from www.bp.com/statistical
- Consejo Nacional de Política Económica y Social CONPES, República de Colombia Departamento Nacional de Planeación (2008). *Lineamientos de política para la asignación de los derechos de exploración y explotación de gas metano en depósitos de carbón*. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía, Agencia Nacional de Hidrocarburos, Instituto Colombiano de Geología y Minería.
- Ecopetrol & UPTC (2001). *Definir oportunidades de prospección de gas a partir del carbón en las áreas aledañas al municipio de Cúcuta, Norte de Santander*. Bogotá: Ecopetrol, UPTC.
- Flórez, R. (2004). *Total Petroleum System and Assessment of Coalbed Gas in the powder River Basin Province, Wyoming and Montana*. USA: U.S. Geological Survey Digital Data Series DDS-69-C.
- Fonseca, J. & López, L. (2003). *Determinación del bloque con mejores de posibilidades del gas asociado al carbón en la zona carbonífera ubicada al nororiente del municipio de Sogamoso*. Trabajo de grado. UPTC, Sogamoso.
- Geomet. (1989). *Geological manual for the evaluation and development of coalbed methane*. Bogota: Ecopetrol Editorial.
- Halliburton (2007). *Coalbed Methane: Principles and Practiques*. Retrieved from www.halliburton.com
- ICP & Ecopetrol. (1997). *División de producción y exploración. Gas asociado al carbón, marco conceptual*. Bogotá.
- Ingeominas. (2004). *El carbón colombiano, recursos, reservas y calidad. Publicaciones geológicas especiales*. Bogotá: Ingeominas. Recuperado de www.ingeminas.gov.co
- Ingeominas. (2006). *Tareas para el desarrollo del carbón en*

Colombia. Recuperado de www.ingeminas.gov.co.

- Kim, A.G., (1977). *Estimating methane content of bituminous coalbeds from adsorption data*. USA: US Bur. Mines, Rep. Invest. 8245. 22 p.
- Law, B.E. & Rice, D.D. (1993). Hydrocarbons from Coal. *AAPG Studies in Geology* (38).
- Mariño, J.E. (2007). *Paleogeothermal conditions in the Illinois Basin during Late Paleozoic coalification*. Unpublished Ph.D Thesis. University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Mariño, J.E. (2010). *Estudios preliminares del gas asociado al carbón (GAC o CBM) en Boyacá*. Trabajo de ascenso en el escalafón. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia.
- Mariño, J. & Mojica, A. (2014). Relación entre la petrografía del carbón y el contenido de gases en la cuenca de Amagá, Colombia. *Revista Facultad de Ingeniería*, 23(37).
- Ministerio de Minas y Energía. (1987). *Decreto 1335 de 1987. Reglamento de seguridad en labores subterráneas*. Tunja, Boyacá: Editorial UPTC.
- Ministerio de Minas y Energía, Unidad de Planeación Minero-Energética -UPME-. (2000). *La cadena del gas natural en Colombia*. Bogotá: Minminas.
- Mojica, L. & Mariño, J. (2013, jul-dic). Estado de la exploración y posibilidades de gas asociado al carbón (GAC) en Boyacá (Colombia). UIS Bucaramanga, Colombia. *Boletín de Geología*, 35(2).
- Moore, T. (2004). General introduction to coal bed methane. In *First annual Illinois Basin coalbed symposium*, The Midwest PTTC Center. Evansville, Indiana. Oklahoma, USA.

-
- Papp, H., Hower, J. & Peters, K. (1988). Atlas of Coal Geology. *AAPG Studies in Geology*, (45).
- Pitre, D. & Noppe, H. (2003). *Determinación del bloque con mejores posibilidades del gas asociado al carbón en el sector SE de Sogamoso*. Trabajo de grado. UPTC, Sogamoso.
- Rice, D.D. (1993). Composition and origins of coalbed gas. In B.E. Law & D.D. Rice (ed.). *Hydrocarbons from Coal*. (pp. 159–184). Tulsa, OK: Am. Assoc. Pet. Geol.
- Rightmire, C.T. (1984). Coalbed methane resources. In C.T. Rightmire, G.E. Eddy & J.N. Kirr (eds). *Coalbed methane resources of the United States*. Tulsa, Oklahoma, American Association of Petroleum Geologists, USA: AAPG Studies in Geology, Series 17.
- Rincón, M., Gómez, H. & Monroy, W. (2010). *El carbón, muestreo, análisis y clasificación de recursos y reservas*. Bogotá: Ingeominas.
- Schlumberger (2003). *Oilfield Review*. Retrieved from www.slb.com/oilfieldreview.
- Schmoker, W. (2004). *U.S Geological Survey Assessment Concepts and Model for Continuous Petroleum Accumulations*. USA: U.S. Geological Survey Digital Data Series DDS-69-C.
- Scott, A.R. (1994). Thermogenic and Secondary biogenic gases. San Juan Basin Colorado and New Mexico. *AAPG* 78(8), 1186-1209.
- Smith, D.M, F L. (1981). A new technique for determining the methane content of coal. In *Proc. 16 th. Intersociety Energy Conversion Engineering Conf. Am. Soc. Mech. Eng*, New York, NY.

-
- Thomas, L. (2002). *Coal Geology*. England: John Wiley and Sons.
- Wood, G.H., Kehn, T.M., Carter, M.D. & Culbertson, W.C, (1983). Coal Resource Classification System of the US Geological Survey. *Geological Survey*, (891), 1-65.
- Zapatero, M., Pendas, F. & Loredo, J. (2001). *Exploración, evaluación y explotación del metano de las capas de carbón*. España: Instituto Geológico y Minero de España.
- Zuber, M. & Boyer, C. (2001). Evaluación de los depósitos de metano en capas de carbón. En M. Zapatero, F. Pendas & J. Loredo (eds.). *Exploración, evaluación y explotación del metano de las capas de carbón*. España: Instituto Geológico y Minero de España.



GLOSARIO

ABSORCIÓN: proceso mediante el cual las moléculas de un líquido o gas sólido son atraídas hacia un cuerpo, de modo que se difundan en su interior. En el carbón, el gas entra en la estructura interna de este.

ACRE: unidad de área utilizada en Norteamérica y equivalente a ≈ 0.4 hectáreas.

ADSORCIÓN: proceso por el cual átomos, iones o moléculas son atrapadas o retenidas en la superficie de un material, en contraposición a la absorción, que es un fenómeno de volumen. En el carbón, el gas se adhiere a la superficie de los poros del carbón.

ANÁLISIS PRÓXIMOS: corresponde a la evaluación de humedad, cenizas, materia volátil y carbono fijo de una muestra de carbón.

ASTM: Sociedad Americana de Pruebas, Estándares y Calidad de los Materiales.

BURETA: es un tubo corto, graduado, de diámetro interno uniforme, provisto de un grifo de cierre o llave de paso en su parte inferior. Se usa para ver cantidades variables de líquidos, y por ello está graduado con pequeñas subdivisiones.

CÁNISTER: cámara hermética construida de metal o de PVC (plástico), constituida por un cuerpo cilíndrico, en el que se introduce la muestra de carbón y una tapa en su parte superior, compuesta por un manómetro que mide la presión y permite el sellado hermético, va adaptado de un sistema de bureta a través de mangueras flexibles, que permite las mediciones del contenido de gas.

CARBÓN: según el Comité Internacional de Petrografía del Carbón, es “Una roca sedimentaria combustible formada de restos vegetales en varios estados de preservación y afectada por una serie de procesos, que involucran la compactación del material enterrado en cuencas inicialmente de poca profundidad”.

CARBONIFICACIÓN O CARBONIZACIÓN: procesos que transforman los restos vegetales en carbón. Cuanto mayor sea esta transformación, mayor será el grado de carbonificación o rango del mismo.

CENIZA: el residuo inorgánico que permanece después de la combustión del carbón.

CBM (COALBED METHANE) O GAS METANO EN DEPÓSITOS DE CARBÓN (GMDC): también llamado CBG (coalbed gas), se refiere a las siglas en inglés de gas metano asociado a mantos de carbón.

CLEATS: son fracturas naturales en el carbón, producto de la contracción de la materia orgánica, que se crean perpendiculares a la estratificación. El juego de *cleats* más desarrolladas se llama *face cleats* (fracturas frontales); se presenta otro juego de *cleats*, menos desarrollada y perpendicular a las *face cleats*, denominado *butt cleats*.

CMM (COAL MINE METHANE): es el metano que se explota en minas abandonadas.

CONTENIDO DE GAS: es el volumen de gas presente por cada peso de carbón, se expresa en pies³/ton y se obtiene de la sumatoria de gas desorbido, gas perdido y gas residual.

CORAZONES (CORES): núcleos de perforación utilizados para las pruebas de desorción.

CROMATOGRAFÍA DE GASES: técnica utilizada para determinar el tipo de gases asociados al carbón. El metano está acompañado por otros gases.

DESORCIÓN: proceso mediante el cual el gas metano generado durante el proceso de carbonificación y absorbido por el carbón es liberado por diferentes causas, entre estas por flujo hacia zonas de menor presión o de mayor espacio libre.

DIFUSIÓN: etapa del movimiento del gas en la que se propaga a través de la matriz sólida del carbón con vía al sistema de fracturas naturales del mismo, donde se pasa de un medio de mayor concentración, la superficie interna, hasta uno de menor concentración, como son las fracturas.

FACIES: todas la características de una roca sedimentaria que refleja directamente las condiciones físicas, químicas y biológicas que presidieron su depósito.

FAIRWAY: zonas carboníferas donde se presentan condiciones óptimas de espesor, permeabilidad, contenido de gas, recarga, etc., de manera concordante, y, como resultado, los contenidos de CBM son altos.

GASES DE YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES: son los que se encuentran en reservorios diferentes a aquellos en donde se presenta el gas natural. Entre estos gases se suelen incluir: i) los gases extraídos de arenas de baja permeabilidad (tight sands); ii) los gases presentes en arcillas bituminosas (gas shales); y iii) el gas metano en depósitos de carbón (coalbed natural gas, coalbed gas methane o natural gas in coal).

GAS DE ORIGEN BIOGÉNICO: gas asociado al carbón de origen bacteriano.

GAS DE ORIGEN TERMOGÉNICO: gas asociado al carbón producto de la carbonificación o aumento de rango del carbón. Está asociado con el aumento de la presión y temperatura del carbón.

GAS METANO: es el hidrocarburo alcano más sencillo, cuya fórmula química es CH_4 . Constituye hasta el 97 % del gas natural. En las minas de carbón se le llama grisú y es muy peligroso, ya que es fácilmente inflamable y explosivo.

GAS DESORBIDO: es el contenido de gas medido en la prueba de desorción en un sistema cánister, durante un tiempo determinado que depende de la cantidad de gas liberado de la muestra de carbón.

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 introducida y sellada herméticamente en el cánister.

GAS RESIDUAL: es el gas que permanece absorbido en la matriz del carbón después de que se ha completado la prueba de desorción. Su contenido se determina pulverizando el carbón.

GIGA: término utilizado para reservas y equivale a 10^9 m³, pies³, ton, etc.

GOB HOLE: son sondeos que se perforan sobre las capas de carbón previo a las labores mineras para desgasificar los frentes mineros.

GRI (GAS RESEARCH INSTITUTE): Instituto de Investigación del Gas en Estados Unidos, que sirvió de apoyo a diversas investigaciones relacionadas con el CBM.

INGEOMINAS: nombre anterior del Servicio Geológico Colombiano (SGC).

ISOTERMAS: ensayos sobre muestras de carbón a temperatura constante y presión variable, a fin de determinar la capacidad de absorción del carbón con el cambio de presión. Sirven para determinar la saturación de gas en la muestra.

ISÓTOPOS: los isótopos son átomos que tienen el mismo número de protones y el mismo número atómico, pero tienen diferente número de neutrones y por lo tanto diferente masa. Se utilizan para determinar el origen del CBM.

MACERALES: son restos vegetales pero aún microscópicamente reconocibles, que conforman la parte orgánica del carbón. Hay tres grupos de macerales, vitrinita, liptinita e inertinita.

MATERIA MINERAL: los componentes inorgánicos del carbón.

MUESTREO: corresponde a la etapa en la cual se recogen las muestras de los mantos de carbón y se depositan en los respectivos cánister. Se puede hacer en frentes de minas como muestreo de canal, en ripios y en corazones de perforaciones.

PERMEABILIDAD: es la medida de la facilidad con que un fluido circula a través de una roca. Se mide en Darcys.

POZO: perforación o hueco realizado con máquina rotatoria. Las muestras pueden ser ripios o corazones.

RANGO DEL CARBÓN: clasificación del carbón que depende del grado de carbonización alcanzado, desde el momento en que se depositaron los fragmentos vegetales hasta el grado de maduración del mismo. La clasificación más conocida es la de ASTM.

REFLECTANCIA DE LA VITRINITA (RO O RM): medida de la reflectividad de luz incidente sobre la superficie pulida del maceral vitrinita. Es un indicador del rango del carbón.

RIPIO (CUTS): cortes de la perforación producto del avance de una broca tricónica.

SHALE GAS (GAS SHALE): gas asociado a *shales* (lutitas) carbonosas o bituminosas.

STP (STANDARD TEMPERATURE AND PRESSURE): las mediciones de CBM deben estandarizarse a temperaturas y presiones estándares, a fin de poder comparar resultados de diferentes partes.

TERA: término utilizado para reservas y equivale a 10^{12} m³, pies³, ton, etc.

TIPO DE CARBÓN: clasifica el carbón dependiendo de la naturaleza de los fragmentos vegetales que lo originaron.

TPB: Total Petroleum System o sistema petrolero total.

USBM: antigua Oficina de Minas de Estados Unidos.

USGS (UNITES STATES GEOLOGICAL SURVEY): Servicio Geológico de Estados Unidos.