
HIDRATOS DE GAS

HERNÁN VÁSQUEZ C.

RESUMEN

Los hidratos de gas son sólidos, similares al hielo, compuestos de jaulas rígidas de moléculas de agua que encierran moléculas de gas, principalmente metano. Pueden formarse y permanecer estables a altas presiones y relativamente bajas temperaturas, desde que esté presente suficiente cantidad de hidrocarburos.

La presencia de los hidratos de gas ha sido detectada en altas latitudes bajo el permafrost (Siberia N, Alaska) y bajo los fondos marinos profundos en sedimentos de márgenes continentales y elevaciones del fondo del mar (Costaafuera California N, Mar de Bering, Mar de Beaufort, Costaafuera Newfoundland y Labrador, Cañón de Baltimore, Golfo de México W, "Trench" Centroamericano, Cuenca Colombiana, Cuenca de Panamá, "Trough" de Nankai, "Trough" de Timor, Costaafuera Nueva Zelandia, Costafuera Angola). También ha sido postulada su presencia en cuencas intracratónicas como en el Mar Negro y el Caspio.

Los hidratos de gas han sido conocidos desde 1810, pero sólo en 1934 apareció la primera publicación (Hammer Schmidt) en relación con el taponamiento de las tuberías de gas por la formación de los hidratos. La ocurrencia geológica se conoce desde 1960 con el descubrimiento por los rusos del campo Messoyakha (N. Siberia) y en 1972 por ARCO-EXXON en el pozo Eilleen State 2 en Prudhoe Bay, Alaska.

La cantidad de gas presente en los hidratos de gas postulados en el mundo se estima que podría alcanzar $18 \times 10^{15} \text{ m}^3$ (6.5×10^5 TCF-Trillones americanos de pies cúbicos). Lo anterior significa que habría dos veces más carbono en los hidratos de gas que el conocido o estimado en las reservas de combustibles fósiles del mundo. Y que esta fuente energética podría suplir las necesidades mundiales hasta el Siglo XXI.

En Colombia se han postulado dos áreas con hidratos de Gas: la Cuenca Colombiana en el mar Caribe y la Cuenca de Panamá en el Pacífico, con reservas estimadas que superan los 120 y 300 TCF de gas respectivamente. Estas cifras se comparan muy favorablemente con las reservas colombianas convencionales de gas de sólo 11 TCF.

INTRODUCCIÓN Y DEFINICIONES

Los clatratos son sustancias químicas cristalinas que ocurren naturalmente en la naturaleza, y en las cuales las moléculas de un componente, denominado el huésped, ocupan intersticios en la estructura del segundo componente, el anfitrión, sin que haya vínculos químicos entre los dos componentes. Estos compuestos también se han llamado Complejos de Inclusión, Compuestos de Oclusión o Cryohidratos.

HERNÁN VÁSQUEZ C. Profesor Geología del Petróleo, Universidad EAFIT. Geólogo e Ingeniero de Petróleos. Facultad de Minas de Medellín. Posgrado Universidad de Texas.

Para el caso en el cual los componentes de los clatratos son agua y gases, se denominan hidratos de gas con las siguientes definiciones: Son sólidos, similares al hielo, compuestos por jaulas rígidas de moléculas de agua que encierran moléculas de gas, principalmente metano; también son llamados Clatratos de Metano, hidratos de Metano o hidratos de Gas.

Origen

Los hidratos de gas pueden formarse y permanecer estables a altas presiones y relativamente bajas temperaturas, desde que haya presente suficiente cantidad de hidrocarburos. Las condiciones anteriores pueden ocurrir en sedimentos poco profundos de fondos marinos y debajo del "permafrost" en ambientes terrestres de altas latitudes. Los hidratos de gas ocurren entonces bajo condiciones específicas de presión y temperatura y con suficiente metano para estabilizar la estructura del hidrato. Las condiciones anteriores ocurren a profundidades pandas (menos de 2000 m) en dos tipos de regiones diferentes:

A altas latitudes, donde la temperatura superficial es muy baja y donde están asociados con el "permafrost". Y en fondos marinos profundos, con altas presiones, en sedimentos de márgenes continentales externas y, en ocasiones, asociados a elevaciones del fondo del mar.

En los sistemas sedimentarios de áreas con estructuras almacenadoras de hidratos de gas se ha sugerido que la filtración de fluidos es el principal proceso responsable para la generación de los hidratos. El estudio de acumulaciones de hidratos asociados a manaderos naturales de hidrocarburos (por cierto accesible sin el requisito de las perforaciones), podría permitir entender la formación subacuática de estos hidratos. Es bueno recordar, además, que la presencia de hidratos poco profundos pueden ser indicativos de la presencia de acumulaciones de aceite y gas

Ocurrencia

Ultimamente se ha desarrollado un creciente interés en la comunidad científica por los hidratos de gas. Estos compuestos de agua y gases, de bajo peso molecular, son de interés no sólo para los químicos, por su rara estructura molecular, sino también para las compañías petroleras y de gas por su gran potencial como fuente energética.

La atención científica se centra en el hecho de que grandes volúmenes de gas pueden estar almacenados como hidratos de gas en sedimentos marinos. Las condiciones apropiadas para su formación (baja temperatura, alta presión y adecuado suministro de gas) son muy comunes en los cientos de metros superiores de los sedimentos rápidamente acumulados en las márgenes continentales.

Aunque los hidratos de gas pueden ser comunes en la parte poco profunda de la geobiosfera, sorprendentemente muy poco es conocido acerca de su ocurrencia en los ambientes naturales. Su desconocimiento podría atribuirse a su inestabilidad bajo condiciones superficiales normales. Los hidratos de gas se disocian rápidamente en los corazones, muchas veces antes de poder ser examinados. La mayoría de los geólogos nunca han visto una muestra de ellos.

Los hidratos de gas pueden formarse y permanecer estables a altas presiones y relativamente bajas temperaturas, desde que haya presente suficiente cantidad de hidrocarburos. Las condiciones anteriores pueden ocurrir en sedimentos poco profundos de fondos marinos y debajo del "permafrost" en ambientes terrestres de altas latitudes.

El mayor conocimiento de la existencia de los hidratos de gas proviene de los estudios sísmicos en márgenes continentales, donde frecuentemente se registra un Reflector de Fondo Simulado (Bottom-Simulated-Reflector-BSR) el cual es considerado como relacionado a la base de la zona de estabilidad de los hidratos, y que también puede corresponder a la interfase entre el sedimento con los hidratos encima y los sedimentos con gas libre debajo.

Aunque la naturaleza de los hidratos los hace difíciles para su estudio, su volumen estimado sugiere que su presencia puede afectar los sedimentos en donde se encuentran y que, al disociarse junto con el gas desprendido, pueda también alcanzar la atmósfera y afectar el clima de la tierra

por las características de efecto de invernadero del metano (green house gas). La formación y descomposición de los hidratos de gas influyen las propiedades mecánicas de los sedimentos que los contienen, así como su estabilidad, la estructura de la porosidad y permeabilidad, los caminos de la migración de fluidos y gases, la composición de los fluidos en los poros y la diagénesis de la fase sólida.

El contenido de hidratos en sedimentos donde se han descubierto acumulaciones alcanza hasta el 30 o 40% de su volumen. En algunas situaciones, los hidratos están localizados en el fondo de la secuencia sedimentaria, y estas acumulaciones requieren el suministro no sólo del gas sino también del agua, y ello podría ser por filtración, bien sea que el agua contenga el gas, o que el agua de los poros migre y encuentre difusiones de gas a partir del fondo.

Los modelos de formación de los hidratos de gas se han desarrollado tanto para el agua saturada de gas como para el gas libre.

La composición isotópica del oxígeno del agua resulta principalmente del intercambio con inclusiones de carbonatos, mejor que por el efecto del fraccionamiento de los hidratos.

Los hidratos de gas se han conocido como curiosidades de laboratorio desde 1810, pero los estudios detallados acerca de sus propiedades físicas solo se iniciaron cuando Hammer Schmidt (1934) publicó la primera información acerca del taponamiento de tuberías de gas debido a la formación de los hidratos. Su ocurrencia geológica se conoce desde 1960 con descubrimientos por los rusos en el Campo Messoyakha de N. Siberia. Podemos recordar, además, que los rusos estiman que el 0.5% del total de su producción de gas proviene de hidratos de gas.

La cantidad de metano en los hidratos de gas se considera enorme, aunque hasta el presente solo podría postularse como especulativa. Los mejores estimativos consideran que existen 10^4 Gt (Gigatons) de carbono en el metano de los hidratos de gas almacenados en el mundo, lo cual sería equivalente a 18×10^{15} m³ (ó 6.5×10^5 tcf) de metano. Lo anterior podría significar que podría existir dos veces más carbono en los hidratos de gas que el conocido o estimado en las reservas de combustibles fósiles del mundo.

Ultimamente se ha desarrollado un creciente interés en la comunidad científica por los hidratos de Gas. Estos compuestos de agua y gases, de bajo peso molecular, son de interés no solo para los químicos, por su rara estructura molecular, sino también para las compañías petroleras y de gas por su gran potencial como fuente energética.

Para finales de 1995 se planeaban investigaciones de las propiedades de los hidratos de gas en sedimentos marinos por medio de la perforación de una serie de pozos, de 50 a 800 m de profundidad, en una prominencia de la plataforma continental en el SE de los EE. UU. durante el programa de perforación 164 del ODP (Ocean Drilling Program).

Zona de estabilidad de los hidratos de gas

Una de las condiciones más importantes que deben considerarse al definir la presencia de los hidratos de gas es la denominada zona de estabilidad.

Dos factores afectan la distribución de la zona de estabilidad: gradiente geotérmica y composición del gas. Hay otros factores más difíciles de cuantificar, y a menudo con un efecto menor sobre los hidratos; entre éstos se pueden mencionar la salinidad de los fluidos en los poros, la presión porosa y el tamaño de granos de las rocas del yacimiento.

En casos particulares como es por ejemplo el de Alaska, N. **Slope**, (EE. UU.) la gradiente geotérmica para las secuencias con hidratos **permafrost** varían entre 1.5° C/100 m **Prudhoe Bay** y 4.5° C/100 m (E. Central NPRA).

Las gradientes geotérmicas para las secuencias de permafrost con hielo en estas mismas áreas varían entre 1.6 y 5.2° C/100 m.

Otra característica importante en la estabilidad de los hidratos es la química de los gases incluidos. De los análisis de más de 320 pozos se concluye que el metano es el gas

predominante en profundidades pandas (0-1500 m) en N. **Slope** (Alaska) y, además, que la composición in situ de los hidratos de gas contiene predominantemente metano.

En cuanto a la sal (como NaCl), cuando está presente en los sistemas de los hidratos, baja el rango de temperatura de formación de ellos. La máxima salinidad observada dentro de las areniscas del **permafrost** de N. **Slope** (19 ppt) sólo cambiaría la curva de estabilidad de los hidratos en -1°C.

La mayoría de los estudios asume que en la estabilidad de los hidratos se considera que las presiones porosas son de tipo hidrostático (9.775 Kpa/m o .433 psi/pie). Las gradientes mayores resultarían en un campo de estabilidad para los hidratos de gas más grueso. Para N. **Slope** la zona de estabilidad de los hidratos asume una presión porosa de tipo hidrostática.

En cuanto al efecto del tamaño de grano de sedimentos con hidratos de gas, su relación no es muy clara, pero se considera que las variaciones del tamaño del grano afectan el punto de congelación: partículas con mayor área superficial en relación con el tamaño del grano, como las arcillas, pueden reducir el punto de congelación del agua en varios grados Celsius; existiría entonces una relación entre granos de gran área superficial y la temperatura de equilibrio del hidrato.

Aunque la naturaleza de los hidratos los hace difíciles para su estudio, su volumen estimado sugiere que su presencia puede afectar los sedimentos en donde se encuentran y que, al disociarse junto con el gas desprendido, pueda también alcanzar la atmósfera y afectar el clima de la tierra por las características de efecto de invernadero del metano.

Pero el estudio de las muestras de hidratos de gas recogidas durante operaciones de investigación en el Océano Pacífico, sugieren que su naturaleza in situ puede ser muy variable como pueden indicarlo las siguientes observaciones: 1) Ocupando poros

de rocas de grano grueso. 2) Como nódulos diseminados en rocas finogranulares. 3) Como sólidos relleno de fracturas. Y 4) Como una unida masiva compuesta principalmente de hidratos de gas sólidos con cantidades menores de sedimentos.

Parámetros volumétricos

Entre los parámetros más importantes relacionados con los hidratos de gas se deben considerar el número de hidrato, el cual ha sido considerado como un factor que describe cuánto de la estructura del clatrato está llena con gas. Para el caso particular de un hidrato de metano, si su estructura está completamente llena de gas, el hidrato tendrá un número de 5.8, pero se considera que un clatrato completamente lleno de gas no ocurre normalmente en la naturaleza, como tampoco podría ser estable si su estructura está ocupada por gas en cantidades menores al 70%. Como ejemplo se puede considerar que un m³ de hidrato de gas con número de hidrato igual a 6.325 (90%) contiene 164 m³ de metano en condiciones normales, y para otro con número de hidrato de 7.475 (70%) el contenido de metano será de 139 m³.

Cálculos volumétricos

El volumen de gas contenido en sedimentos con hidratos de gas puede estimarse por medio de una fórmula simple:

$$V = A \times t \times P \times S \times F$$

donde:

- V = Volumen de gas en el hidrato, en m³
- A = Extensión de la ocurrencia del hidrato
- t = Espesor del yacimiento
- P = Porosidad
- S = Saturación del hidrato de gas
- F = Factor de recobro (asumiendo el número de hidrato)

Acumulaciones mundiales

Las condiciones requeridas para la ocurrencia de hidratos de gas en la naturaleza han sido definidas en sedimentos cercanos a los fondos marinos y a altas latitudes en tierra bajo el permafrost. También pueden ocurrir en ambientes terrestres de temperaturas bajas (cerca y ligeramente por debajo del punto de congelación del agua), y donde las condiciones batimétricas, de hielo o de presiones

del permafrost sean suficientemente altas. Adicionalmente ha sido postulada la existencia de los hidratos de gas asociados con diapiros, volcanes de lodo, fallas, cañones subacuáticos y en ambientes de planicies deltaicas o plataformas marinas en las cuales las trampas estratigráficas son comunes.

El conjunto de hidratos de gas y gas asociado atrapados en el subsuelo son especialmente comunes en márgenes continentales. Un estudio comparativo de la mayoría de las ocurrencias reportadas en márgenes continentales activas y pasivas, mostró la influencia relativa de la geodinámica y en relación a su formación y estabilidad.

Aunque existen muchas ocurrencias de hidratos de gas confirmadas o inferidas en el mundo, de los estudios realizados por Geoexplorer International en 13 regiones, 5 están localizadas en márgenes continentales activas y siete en pasivas. Otras regiones investigadas en las márgenes activas incluyen el Nankai "Trough", costaafuera del SE japonés y el Timor "Trough" en el archipiélago indonesio. En cuencas intracratónicas los hidratos de gas han sido investigados en los mares Negro, Caspio y de Okhotsk.

Se conoce también su presencia en la parte W de la plataforma siberiana y en otras áreas rusas como las provincias de Timan, Pechora, Cratón Siberiano al E, áreas al N de S. Kamchatka y mar de Barents. También en Norteamérica en varias regiones del Ártico, Delta del Mackenzie y N. Slope.

Los hidratos de gas del campo ruso de Messoyakha (E Siberia) y los del área de Kuparuk River-Prudhoe Bay (Alaska) son los más conocidos.

Fuera de las áreas arriba mencionadas también se reporta o postula la existencia en las siguientes localidades (**Tabla 1, Figura 1**):

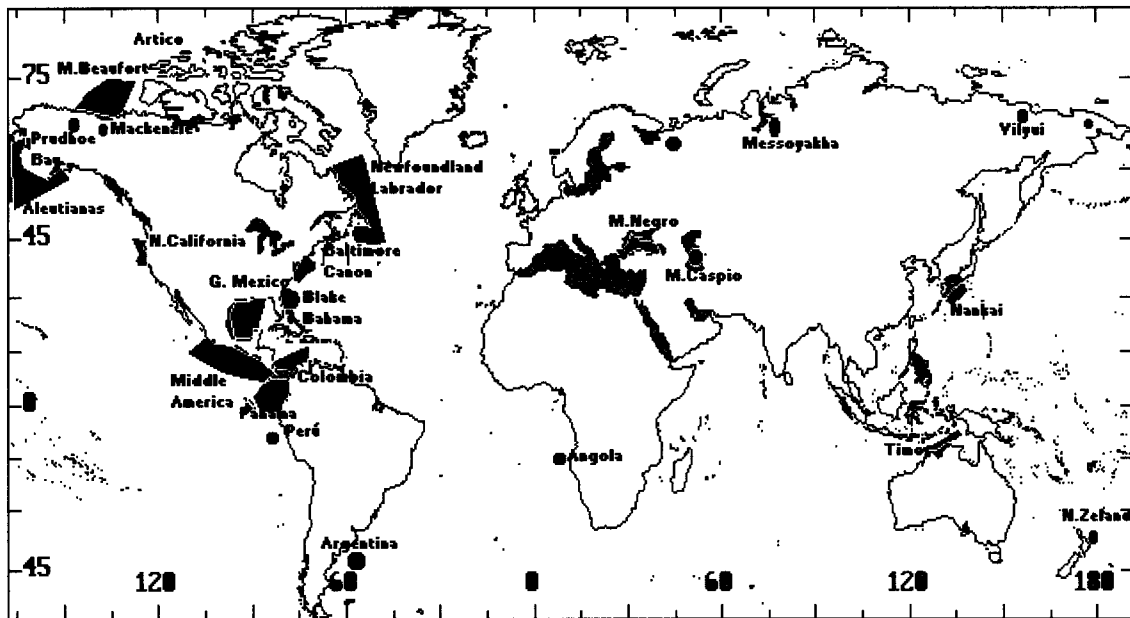
América: "Trench" Aleutiano, Mar de Beaufort, Archipiélago Artico, Costaafuera Newfoundland y Labrador, Costafuera California N., Baltimore "Canyon Trough", Blake-Bahama "Outer Ridge", Golfo de México W, Costaafuera "Middle America Trench", Cuenca Colombiana (Caribe), Cuenca de Panamá (Pacífico), Costafuera Perú (Pacífico) y Costaafuera Argentina. Africa-Asia: Costaafuera Angola, Cuenca Vilyui E, Golfo de Omán, Costaafuera NE Nueva Zelanda, Antártica.

TABLA 1
EJEMPLOS DE RESERVAS POTENCIALES DE GAS EN HIDRATOS
Asumiendo espesor de hidratos de 10 m.

REGION DE ESTUDIO	TCF ZONA DE 10 M	M3 ZONA DE 10 M
LABRADOR MARINO	250	7.1 x 10 ¹²
CAÑÓN DE BALTIMORE	380	10.8 x 10 ¹²
BLAKE OUT RIDGE	660	18.8 x 10 ¹²
GOLFO DE MEXICO	900	25.7 x 10 ¹²
CUENCA DE COLOMBIA	1200	34.2 x 10 ¹²
CUENCA DE PANAMÁ	300	8.5 x 10 ¹²
MIDDLE AM. TRENCH	470	13.4 x 10 ¹²
CALIFORNIA NORTE	50	1.4 x 10 ¹²
TRENCH ALEUTIANO	100	2.8 x 10 ¹²
MAR BEAUFORT	725	20.7 x 10 ¹²
TROUGH NANKAI	150	4.2 x 10 ¹²
MAR NEGRO	30	.8 x 10 ¹²
TOTAL	5200	149 x 10¹²

FIGURA 1

**HIDRATOS DE GAS
Marinos y Continentales**



Campo Messoyakha

El campo de Messoyakha en sedimentos Cenomanianos de N. Siberia ha sido considerado por algunos autores como un campo principalmente de hidratos de gas. Se considera que las presiones y temperaturas, al menos para una parte del campo, se acomodan a la zona de estabilidad de los hidratos.

Otras características que permiten postular la presencia de hidratos en este campo incluyen las expresiones típicas de los registros eléctricos, la distribución intrincada del agua/gas en el yacimiento, la baja productividad de algunos de sus pozos, la cantidad y composición del agua producida, el control de gas para el yacimiento y el comportamiento termodinámico de algunos estratos. Sin embargo debe considerarse que todo lo anterior puede ser debido a la geología del campo y a su inapropiado desarrollo.

Se han realizado largas observaciones sobre la alteración del gas (composición) utilizando técnicas especiales, y los resultados obtenidos podrían indicar que no hay hidratos en la parte superior de la acumulación reportada como yacimiento de hidratos. Los hidratos tecnogénicos podrían

formarse en esta sección en los fondos de los pozos inactivos como resultado del flujo cruzado de gases, mientras que los hidratos naturales es posible que sólo existan en la parte inferior del yacimiento.

El campo Messoyakha fue descubierto en 1968 como el primer productor de la parte norte de la cuenca de Siberia Oeste. Para 1980 se habían descubierto en el área 66 campos de gas con reservas de 777 TCF (la tercera parte de las reservas mundiales).

La producción en la parte norte de la cuenca de Siberia Oeste proviene de yacimientos Neocenomanianos (Cretáceo Inferior, conjuntos Vartov y Magion a 2800 m y Pokur a 1100 m). La acumulación de Messoyakha está restringida a la formación Dolgan (Cenomaniano-Pokur) con producción entre 720 y 820 m. Los 40 metros superiores se consideran en la zona postulada para la estabilidad de los hidratos de gas. Se ha determinado que la isotérmica de 10°C define el límite inferior de la zona de hidratos de gas y a su vez limita la acumulación inferior del gas libre.

Según los registros eléctricos los hidratos ocurren dentro de una serie de secuencias arenosas con

buena continuidad lateral, separadas por estratos de shale y "siltstone".

La estructura comprende un área de 12.5 x 19 km. Originalmente se le calcularon unas reservas de gas (hidratos y gas libre) de 2.8 TCF, con aproximadamente la tercera parte correspondiente al gas de los hidratos.

Las condiciones requeridas para la ocurrencia de hidratos de gas en la naturaleza han sido definidas en sedimentos cercanos a los fondos marinos y a altas latitudes en tierra bajo el permafrost. También pueden ocurrir en ambientes terrestres de temperaturas bajas (cerca y ligeramente por debajo del punto de congelación del agua), y donde las condiciones batimétricas, de hielo o de presiones del permafrost sean suficientemente altas.

Kuparuk River-Prudhoe Bay- N. Slope

La presencia de hidratos de gas en N. Slope (Alaska) fue evidenciada en primer lugar por un corazón, además de las evidencias de perforación e información de registros eléctricos. Las evidencias anteriores permitieron asumir su presencia en numerosos estratos en el área de Prudhoe Bay y en el campo de Kuparuk River.

De la anterior información también se concluyó que en regiones con permafrost los hidratos de gas pueden existir a profundidades entre 130 y 2000 m. El estimativo de gas contenido del área varía entre 1.4×10^{13} y 3.4×10^{16} m³ (5×10^2 y 10^6 TCF).

La existencia de hidratos de gas fue confirmada en N Slope en 1972 por medio de un corazón obtenido por ARCO-EXXON en el pozo Eileen State 2 (**Prudhoe Bay**). Este pozo fue perforado con un lodo enfriado para evitar la descomposición del permafrost y por lo tanto de los hidratos de

gas. Su presencia también fue confirmada por una prueba de presión del corazón, el cual estaba mantenido en un barril presurizado a la temperatura de 1°C. Con el retiro del gas la presión del corazón caía, pero cuando se sellaba nuevamente el sistema, la presión se elevaba nuevamente hasta alcanzar la presión del equilibrio teórico.

El intervalo corazonado (663-671 m.) fue probado por medio de DST (Drill Stem Test) y al chuparlo produjo a la rata de 112 m³ por día (3960 pc/d-pies cúbicos por día). Los análisis de las muestras obtenidas indicaron que el gas dominante era el metano (93% metano, 7% nitrógeno) que se comparan con los correspondientes al análisis del gas del corazón (87 a 99% metano).

La ocurrencia de los hidratos de gas en este intervalo también fue confirmada por el registro del lodo, registros eléctricos y el desprendimiento de grandes cantidades de metano durante la perforación (tanto como 400 ppt).

Para la definición de la presencia de hidratos de gas por medio de registros eléctricos se consideran las siguientes condiciones: 1) Alta resistividad en relación a la del agua (aproximadamente 50 veces mayor). 2) Intervalos de tiempos de viaje menores en relación a los del agua (disminución de aproximadamente 4 s/pie).

Para el caso específico de Prudhoe Bay los estudios sísmicos 3D documentaron la existencia de un contacto entre los hidratos de gas y el gas libre en la base de la Zona de estabilidad. Además, los registros de pozo en hueco abierto, para el extremo W del campo, confirmaron la presencia de una acumulación de gas libre en un atrapamiento estratigráfico en buzamientos descendentes, y debajo de cuatro secuencias de hidratos de gas. Esta situación es por cierto muy similar a las acumulaciones de hidratos de gas y gas libre en el campo Ruso de Messoyakha (W. Siberia).

En la unidad A (con hidratos) del campo Kuparuk River, parte SE, también ha sido definido un volumen significativo de petróleo. En esta secuencia la mayoría de los hidratos ocurren debajo del permafrost con hielo, y también atrapados debajo de la zona de estabilidad de los hidratos hay un buen volumen de gas libre y aceite. Los registros eléctricos y las muestras de zanja también indican la presencia de varios lechos gruesos de carbón.

Se han reportado porosidades del rango de 40 a 45% en las secuencias del permafrost de Prudhoe Bay (0 a 610 m) y en el área de Kuparuk River de 25 a 35% para secuencias por debajo del permafrost (1000 - 1300 m). Presumiblemente la reducción de la porosidad con la profundidad es causada exclusivamente por la compactación.

Pueden existir múltiples mecanismos para el atrapamiento de los hidratos de gas en Prudhoe Bay y Kuparuk River. La mayoría de los sedimentos que contienen los hidratos en estas áreas fueron depositados en ambientes de planicies deltaicas y plataformas marinas, en las cuales las trampas estratigráficas son muy comunes. Pero, dos mecanismos especiales considerados son: el permafrost (con contenido de hielo) puede ser una barrera efectiva para la migración del gas, y aunque no se considere el mecanismo de atrapamiento, puede formar trampas dentro del yacimiento que superyace, por ejemplo las arenas de Ugmi. Adicionalmente, los hidratos de gas pueden formar sus propias trampas; el gas puede llegar a la zona de estabilidad de los hidratos y con el agua de los poros formar los hidratos de gas. Con la cantidad adecuada de gas y agua los poros del yacimiento podrían estar completamente llenos volviendo la roca impermeable a cualquier migración posterior.

El volumen de gas que podrían contener los hidratos de gas en N. Slope varía de $.31 \times 10^{12}$ a $710 \times 10^{12} \text{ m}^3$ (11 a 25000 TCF), que podrían compararse con las reservas convencionales de gas de Norteamérica de $12.5 \times 10^{12} \text{ m}^3$ (440.2 TCF). El gas que puede existir en los yacimientos depende de 5 condiciones: 1) extensión lateral de las ocurrencias de los hidratos. 2) espesor del yacimiento. 3) porosidad. 4) número de hidrato. Y 5) grado de saturación de los hidratos.

Al considerar el origen de los hidratos en N. Slope, deben tenerse en cuenta su distribución y composición geoquímica, además que: 1) Todos los hidratos encontrados están cerca al límite E del campo Kuparuk River y se extienden hasta el extremo W de Prudhoe Bay. 2) Los hidratos están presentes en una serie de areniscas del terciario inferior que buzcan suavemente hacia el NE. 3) Todos los hidratos subyacen una secuencia de "mudstones" marinas relativamente impermeables. 4) Aceite y asfalto están presentes en una secuencia inferida de hidratos de gas. 5) Los hidratos están compuestos muy posiblemente por metano derivado de fuentes microbianas o termogénicas.

Para el área de Prudhoe Bay la mayoría de los hidratos de gas y aceites pesados ocurren en buzamientos ascendentes o encima de la falla Eilleen, la cual puede haber actuado como conducto para el gas así como para la migración del aceite desde las acumulaciones más profundas.

Con base en el análisis geoquímico de muestras de zanja, se ha postulado que el gas presente en la zona de estabilidad de los hidratos es principalmente metano para las zonas pandas (0 - 1500 m). Y por otra parte los análisis isotópicos sugieren que el metano presente dentro de los hidratos es una mezcla de origen microbiano y termogénico. Según la Reflectancia de Vitrinita (R_o 0.4) las rocas con hidratos de gas nunca han estado sometidas a temperaturas dentro de la ventana termogénica, y por lo tanto el gas termogénico debe de haber migrado desde mayores profundidades.

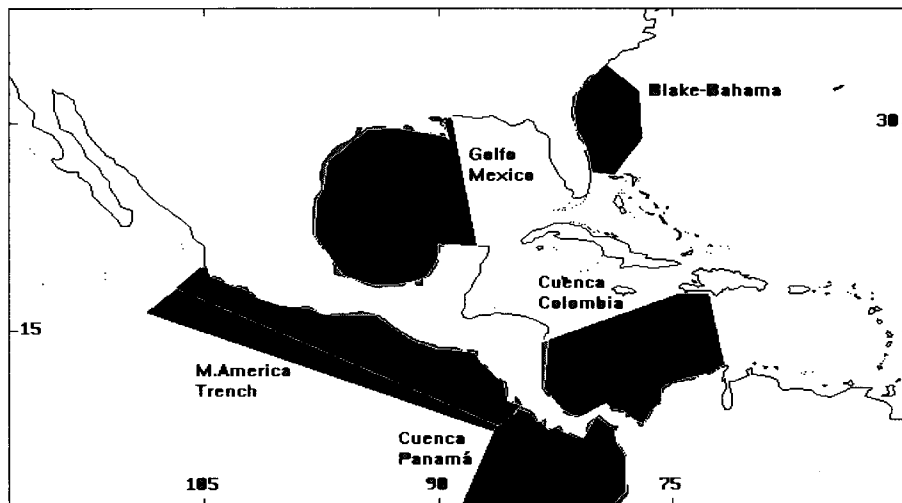
El "gas cap" del campo Prudhoe Bay está compuesto de metano (83-88%), etano (5-7%) y propano (1-2%), pero ni el etano ni el propano están presentes en la zona de estabilidad de los hidratos, por lo tanto, el gas termogénico de los hidratos de gas debe de haber sido despojado de sus componentes pesados.

Cuando el gas migró a los horizontes superiores, la base del permafrost congelado debió haber estado al menos 160 m más profundo de lo que está en la actualidad, y las condiciones que originaron el permafrost de Alaska, así como sus hidratos de gas deben de haber persistido desde finales del Plioceno (1.65 MA). Las fluctuaciones regionales de temperaturas en el Pleistoceno (1.65 a 0.01 MA) han sido grandes y han contribuido al engrosamiento y adelgazamiento del permafrost y de la zona de estabilidad de los hidratos de gas. Se puede afirmar, entonces, que estos hidratos de N. Slope son posiblemente no más viejos que el Pleistoceno (1.65 MA) y hasta podrían ser tan jóvenes como el Wisconsinian (aproximadamente 0.07 a 0.01 MA).

Hidratos de gas en Colombia

En un estudio realizado por Geoexplorers International se postulan dos áreas con potencial de hidratos de gas en Colombia: la denominada Cuenca Colombiana en el mar Caribe y la Cuenca de Panamá en el Océano Pacífico (**Figura 2, Tabla I**).

FIGURA 2
HIDRATOS DE GAS
Cuencas Marinas



Considerando sólo una zona de 10 m de espesor para la ocurrencias de hidratos en las cuencas anteriores, el potencial de reservas de gas ha sido estimado en $34.2 \times 10^{12} \text{ m}^3$ (1200 TCF) para la Cuenca Colombiana y $8.5 \times 10^{12} \text{ m}^3$ (300 TCF) para la de Panamá, valores que comparados con las reservas convencionales de gas en Colombia (11 TCF) bien pudieran ser consideradas como un buen potencial energético para el futuro.

La información específica de las áreas potenciales colombianas para los hidratos de gas proviene de ECOPEPETROL con aproximadamente 6000 km de líneas sísmicas en el Pacífico y 8000 km en el mar Caribe.

Basados en la información de ECOPEPETROL y utilizando ejemplos de aquellas líneas sísmicas en las cuales aparecen los reflectores simulados de fondo (BSR) asumidos como correspondientes a la base de las zonas de los hidratos de gas, se han realizado algunos estudios (P. Villamarín y M. Medrano, Tesis de Grado) que permiten postular algunos parámetros y hasta estimar reservas de gas provenientes de hidratos para algunos sitios particulares. Las gradientes geotérmicas consideradas para estos estimativos fueron de $1^\circ\text{F}/100$ pies para el Caribe y de $.9^\circ\text{F}/100$ pies para el Pacífico; las profundidades de agua para los sitios considerados en el Caribe variaron entre 1015 y 1520 m, con la correspondiente base para los hidratos entre 1400 y 2160 m. En otro ejemplo para el Pacífico, las profundidades de agua

variaron entre 1230 y 1450 m y la correspondiente base de la zona de hidratos entre 1425 y 1780 m. Los espesores de sedimentos con hidratos fueron considerados con rangos de 300 m para el Caribe y de 400 m para el Pacífico.

Algunos cálculos cuantitativos para un bloque en el Pacífico permitieron estimar reservas de gas provenientes de hidratos en el rango de 18 a 52 TCF.

En un estudio realizado por Geoexplorers International se postulan dos áreas con potencial de hidratos de gas en Colombia: la denominada Cuenca Colombiana en el mar Caribe y la Cuenca de Panamá en el Océano Pacífico.

CONCLUSIONES

Los hidratos de gas ocurren en la naturaleza bajo condiciones de altas presiones y relativamente bajas temperaturas, desde que haya suficiente suministro de hidrocarburos.

La ocurrencia geológica de los hidratos de gas está relacionada con altas latitudes, en sedimentos que subyacen el permafrost, y en sedimentos debajo de los fondos marinos profundos de márgenes continentales.

Los hidratos de gas han sido conocidos desde 1810 como curiosidades químicas, pero sólo en 1960 se comprobó su existencia en el campo Ruso de Messoyakha (N. Siberia) y en 1972 en Prudhoe Bay (Alaska).

La ocurrencia de los hidratos de gas se caracteriza por la presencia de una zona de estabilidad de los hidratos que normalmente superyace una zona con acumulación de gas libre.

El gas contenido en los hidratos de gas es esencialmente metano y su origen parece ser biogénico y metagénico.

La edad de la formación de los hidratos, particularmente para N. Slope (Alaska), es considerada no más vieja que el Pleistoceno (1.64 MA) y hasta podrían ser tan jóvenes como el Wisconsinian (aproximadamente entre 0.07 y 0.01 MA).

El volumen de gas metano almacenado en los hidratos de gas es enorme, y los mejores indicativos indican que el carbono en los hidratos de gas en el mundo alcanza un total de 10^4 Gt (Gigatons), equivalente a 18×10^{15} m³ (6.5×10^5 TCF) de metano. Esta cantidad podría significar que hay dos veces más carbono en los hidratos de gas que el conocido o estimado en las reservas de combustibles fósiles del mundo.

En Colombia se han postulado dos áreas con potencial para hidratos de gas: la Cuenca colombiana en el mar Caribe y la Cuenca de Panamá en el Pacífico, con reservas de gas estimadas en 1200 y 300 TCF respectivamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Baillie, C. 1987 Charts Gives Hydrates Formation Temperature for Natural Gas. The O & G J. Vol. 85 (April 1987). p. 37.
- Booth, J. S., William, J. W. & William, P. D. USGS Woods Hole Ma. Concentrate Marine Gas Hydrates Deposits: Laboratory simulations seeks explanations of their origin and methods of pressure analysis. (Abstract). AAPG Bul. Vol. 78 No. 8. August 1994. p. 1328.
- Carman, G. J. & Hardwick, P. 1983. Geology and Regional Setting of the Kuparuk Oil Field, Alaska. AAPG Bul. Vol. 67 No. 6. p. 1014.
- Charles, P. University of North Caroline. Chapel Hill. Atlantic Gas Hydrates Target of Ocean Drilling Program Leg. The O & G. J. Vol. 93 No. 42. Oct. 16/95. p. 116.
- Collet, T. S. Natural Gas Hydrates of the Prudhoe Bay and Kuparuk River Area. N. Slope, Alaska. AAPG Bul. Vol. 77 No. 5. May 1993. p. 793.
- _____. USGS Lake Hood Col. Potential of Gas Hydrates. The O & G J. Vol. 90 No. 25 June 22/92. p. 84.
- Doweney, M. W. 1984. Evaluating Seals for Hydrocarbon Accumulations. AAPG Bul. Vol. 68. No. 11. P. 1752.
- Fritz, M. Clathrates. Fuel for the Future. AAPG Explorer. July 1991. p. 10.
- Grinsburg, G. Institute for Geology and Mineral Resources for the Ocean. St. Petersburg, Russia. Challenging the Presence of Gas Hydrates in Messoyakha Pool (Abstract). AAPG Bul. Vol. 77 No. 9. p. 1625.
- _____. Valery, S. Institute for the Geology and Mineral Resources for the Ocean. St. Petersburg, Rusia. Shallow Gas Hydrates within the Areas of Subaquatic Seepage (Abstract). AAPG Bul. Vol. 77 No. 9. p. 1626.
- Grace, J. D. & Hart, G. F. Giant Gas Fields of Northern West Siberia. AAPG Bul Vol. 70. No. 7. 1986. p. 830.
- Jamison, H. C., Brockett, L. D., McIntosh, R. A. 1980. Prudhoe Bay. A 10 year perspective. AAPG Memoir 30. p. 289.
- Krason, J. Geoexplorers International Inc. Denver Colo. USA. Gas Hydrates in the Contest of Basin Analysis.
- Krenvolden, K. A. USGS Mento Park Cal. Gas Hydrates (Clathrates) in the Geoscience. Resource, Hazard and Global Change (Abstract). AAPG Bul. Vol. No. 11. p. 2020.
- Vásquez-C, H. 1995. Universidad EAFIT. Geología del Petróleo. Notas de Clase.
- Villamarín, P & Medrano, P. Tesis de Grado. Universidad de América. 1992. Yacimientos de hidratos de Gas.
- Winter, W. J., James, S. B., William, P. D. and Robert, F. C. USGS Woods Hole Ma. GHASTLI. Gas Hydrate and Sediment Test Laboratory Instrument. (Abstract). AAPG Bul. Vol. 77. No. 11. p. 2020.