

## EVALUACIÓN DE LA TEMPERATURA DE NUCLEACIÓN Y FORMACIÓN DE HIDRATOS DE METANO UTILIZANDO EL BIOTENSOACTIVO SURFACTINA

Antonio Pavón-García\*, Octavio Elizalde-Solís, Abel Zúñiga-Moreno, Ricardo García-Morales

<sup>1</sup>*Instituto Politécnico Nacional, ESIQIE*

\*[apavong0900@alumno.ipn.mx](mailto:apavong0900@alumno.ipn.mx)

### Resumen

Actualmente, el interés por el estudio de la formación de hidratos de gas ha crecido debido a la aplicación que se les puede dar en el almacenaje y transporte de gas, el objetivo de este trabajo fue, evaluar el efecto que presenta un biotensoactivo (Surfactina) a baja concentración durante el proceso de nucleación y formación de hidratos de metano. La surfactina se aplicó en los sistemas bajo estudio a concentraciones acuosas de 0, 1500, 2000 y 2500 ppm; así mismo, se aplicó el método isocórico - isotérmico dentro de tres celdas a volumen constante a una presión de 50 bar y se encontró que el biotensoactivo utilizado actúa como un promotor en la formación del hidrato de metano al disminuir el tiempo de inducción y aumentar la temperatura de formación.

**Palabras clave:** hidratos, metano, surfactina, biotensoactivos

### Introducción

Los hidratos de gas son compuestos formados por moléculas de agua y moléculas de gas sin que haya algún enlace químico de por medio entre ellos, estos compuestos se forman a condiciones adecuadas de temperatura y presión que por lo general son alta presión y bajas temperaturas, los hidratos fueron descubiertos en 1810 y anteriormente se les consideraba solo como un problema debido a que podían llegar a formar taponamientos en líneas de transporte de gas natural y como consecuencia dichas líneas podían llegar a fracturarse (Sloan jr. & Koh, 2007), en la industria petrolera también son

considerados un gran problema en etapas como la perforación y extracción de petróleo, por tales razones el estudio sobre hidratos de gas se enfocaba principalmente en encontrar alternativas para evitar la formación de hidratos como el uso de diferentes aditivos para cambiar las condiciones de presión y temperatura durante el proceso de formación, a estos aditivos se les conoce como inhibidores termodinámicos (Daraboina, Pachitsas, & von Solms, 2015). Existe otro tipo de aditivos clasificados como inhibidores para la formación de hidratos que son los inhibidores de baja dosificación, y a diferencia de los anteriores, estos compuestos no cambian las condiciones de formación, pero sí modifican la cinética de formación. La ventaja de estos últimos es que se emplean en bajas concentraciones (Kelland, 2014). Por otra parte, se sabe que 1 m<sup>3</sup> de hidrato de gas puede contener hasta 180 m<sup>3</sup> de gas natural, esta es una de las razones por las que la comunidad científica ha volteado a ver a los hidratos de gas como una alternativa en el transporte y almacenamiento de gas. Por tal motivo, se están desarrollando investigaciones sobre aditivos que cambien las condiciones de formación (P y T), o la cinética para promover la formación de hidratos de gas. Algunos de los compuestos que promueven la cinética de formación son los tensoactivos debido a que pueden bajar la tensión superficial entre el gas y el agua, favoreciendo así, el área de contacto para mejorar la formación (Ganji, Manteghian, & Rahimi Mofrad, 2007). Los lipopéptidos son compuestos con estructuras cíclicas generalmente producidas por especies de Bacilos y Pseudomonas. La surfactina, clasificada como un biotensoactivo, es el lipopéptido más estudiado y puede reducir la tensión superficial del agua de 72 a 27 mN/m; de hecho, muestra una mejor actividad superficial que el SDS de acuerdo con algunos estudios de la literatura especializada (Bhattacharjee, y otros, 2017). Por lo tanto, se espera que al agregar surfactina al sistema bajo estudio se disminuya el tiempo de inducción e incremente la temperatura de formación de hidratos de metano con respecto a los sistemas sin aditivo.

## Objetivo

El objetivo de este trabajo es determinar experimentalmente el desempeño del biotensoactivo surfactina en la formación de hidratos de metano, evaluando tanto la temperatura máxima de formación, así como el tiempo de inducción.

## Materiales y métodos

Para este trabajo se utilizó surfactina sódica, agua desionizada y gas metano de alta pureza. El método experimental utilizado para la formación de hidratos fue el método isocórico - isotérmico. Para esto, se utilizó el arreglo experimental que se describe en la figura 1. Este consta de tres celdas de equilibrio construidas en acero inoxidable (A, B, C) las cuales se sumergen en un recipiente que contiene líquido refrigerante (2) para mantener la temperatura deseada de las celdas, esta temperatura es controlada mediante un recirculador (12). Cada celda consta de un manómetro (3) y un termómetro (4) para medir la presión y la temperatura en tiempo real y por medio de una adquisición de datos realizada en un software de distribución libre (Python) (10) estas temperaturas y presiones son guardadas en archivos de texto para su posterior análisis. Además, cada celda cuenta con un agitador magnético (5) y a su vez los agitadores tienen un controlador de velocidad (6). Finalmente, el gas es suministrado al sistema por medio de una bomba de pistón (7).

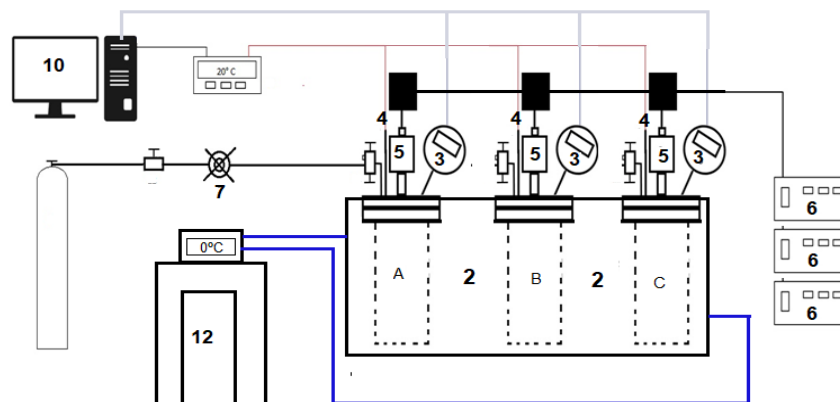


Figura 1. Equipo experimental

Antes de iniciar cada experimento, las celdas son cargadas con la solución de surfactina, cada celda con una concentración específica, el reactor 1 con 1500 ppm, reactor 2 con 2000 ppm y el reactor 3 con 2500 ppm, asegurándose que cada celda quede herméticamente cerrada para posteriormente hacer vacío al sistema, a una temperatura de 20°C. Posteriormente, se fija la temperatura de estudio (por ejemplo, 0°C) y se prenden los agitadores. A partir de este momento, empiezan los experimentos. Cuando los sistemas están estabilizados en presión y temperatura, se procede a inyectar el gas hasta 50 bar. Una vez que los sistemas están cargados con la presión deseada, se deja estabilizar nuevamente la presión y temperatura. Finalmente, cuando los sistemas se encuentran en equilibrio, se detiene la agitación y se deja el experimento hasta una semana esperando a que haya formación de hidratos de gas.

## Resultados

Los sistemas reportados en este trabajo son CH<sub>4</sub> + H<sub>2</sub>O + surfactina a tres diferentes concentraciones: 1500, 2000 y 2500 ppm, el sistema CH<sub>4</sub> + H<sub>2</sub>O no se muestra en este apartado debido a que no hubo formación por debajo de 273.15 K, por lo que, cualquier formación de hidratos por arriba de 273.15 K se considera evidencia de promoción para la formación, utilizando el biotensoactivo. Los parámetros obtenidos a partir de la presión y temperatura para este trabajo fueron: temperatura de cristalización, tiempo de inducción y caída de presión debido a la formación, las Figuras 2, 3 y 4 muestran la variación de tales parámetros, la Figura 2 muestra la temperatura de cristalización, en donde se alcanzó una temperatura de formación de hasta 2.57 °C a 2000 ppm de surfactina, sin embargo, también se logró la formación a 1500 y 2500 ppm a 1.86 y 1.47 °C respectivamente. La Figura 3 muestra la caída de presión debido a la formación del hidrato de metano, en la gráfica se muestra un ΔP de aproximadamente 22 bar y la diferencia de presión con respecto a la concentración no es significativa, ya que entre las tres concentraciones la diferencia máxima es aproximadamente un bar. Finalmente, el tiempo de inducción que se muestra en la Figura 4, supone que el menor tiempo de inducción es a 2000 ppm de surfactina, ya que la formación empezó después de 6.4

minutos de haber inyectado el gas, mientras que, para las otras dos concentraciones el tiempo de inducción fue de 7.3 y 13.9 minutos para 1500 y 2500 ppm respectivamente.

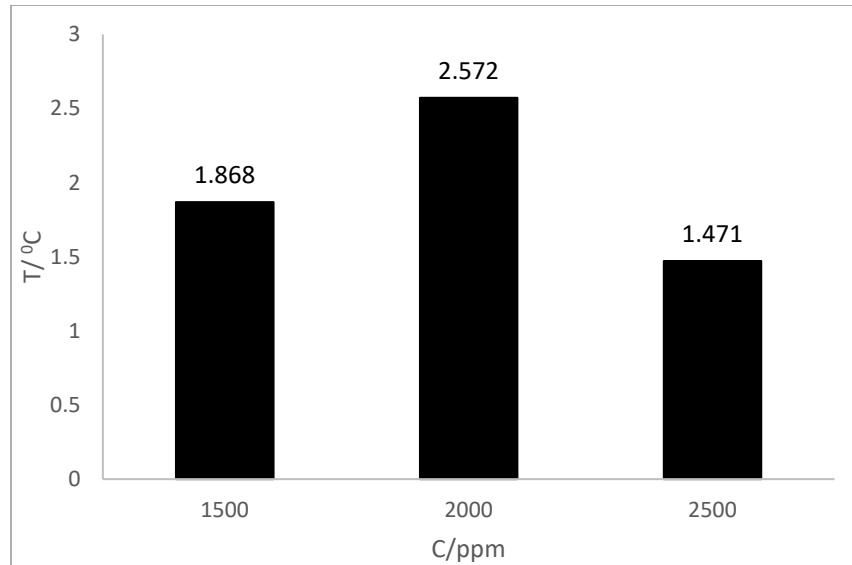


Figura 2. Temperatura de cristalización

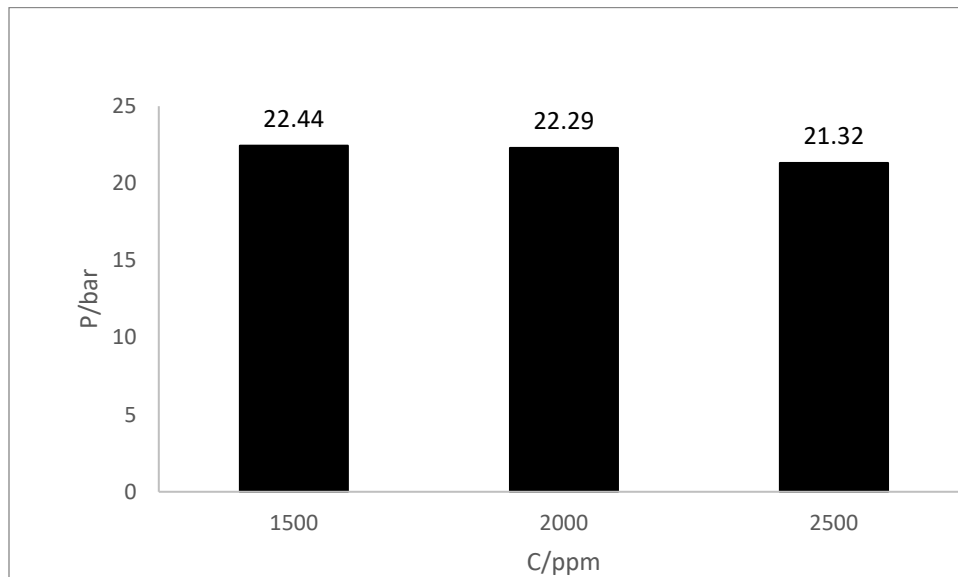


Figura 3. Caída de Presión

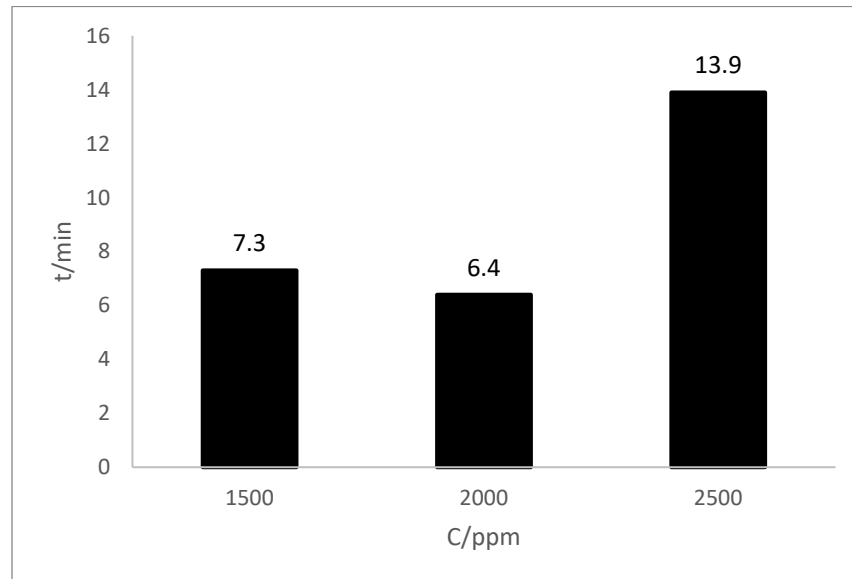


Figura 4. Tiempo de inducción

## Discusión

No existen otros trabajos en donde se proponga la surfactina como promotor en la formación de hidratos de metano a concentraciones de 1500, 2000 y 2500 ppm. Sin embargo, existen trabajos en donde estudian a la surfactina a concentraciones menores de 1000 ppm (Jadav, Sakthipriya, Doble, & Sangwai, 2017). En los cuales, han encontrado que el biotensoactivo actúa como promotor en la formación de hidratos al disminuir el tiempo de inducción, al igual que lo encontrado en este trabajo. Ya que, con respecto a los resultados obtenidos, el tiempo de inducción se redujo, hubo una caída de presión debido a la formación del hidrato de metano. Además, la temperatura máxima de formación fue de alrededor de 2.5 °C.

## Conclusión

1. Con los resultados obtenidos, es posible determinar que la surfactina actúa como promotor en la formación de hidratos de metano debido a que logra la formación de hidratos de gas aun cuando el sistema estuviera por encima de 0 °C, a diferencia de cuando el sistema estaba en ausencia del biotensoactivo que no se logró la formación

del hidrato de metano aun cuando el sistema estaba muy cerca de la temperatura de congelación del agua.

2. El gas consumido debido a la formación del hidrato es proporcional a la caída de presión reportado en este trabajo, será interesante saber cuántos moles de gas se consumió al modelar el consumo utilizando la ecuación de los gases reales.
3. Al parecer, el tiempo de inducción no es afectado por la concentración del biotensoactivo, pero sí se afecta debido a la agitación del sistema al momento de inyectar el gas.
4. El efecto promotor del biotensoactivo es debido a la disminución de la tensión superficial del agua en presencia de la surfactina y esto permite una mayor interacción del agua con el metano y así mejorar la formación del hidrato al disminuir el tiempo de formación y aumentando el consumo de gas.

## Referencias

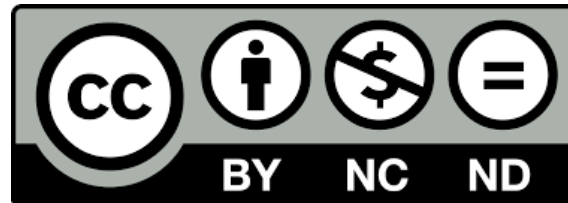
- Bhattacharjee, G., Barmecha, V., Pradhan, D., Naik, R., Zare, K., Mawlankar, R. B., Kumar, R. (2017). The Biosurfactant Surfactin as a Kinetic Promoter for Methane Hydrate Formation. *Energy Procedia*, 5011-5017.
- Daraboina, N., Pachitsas, S., & von Solms, N. (2015). Natural gas hydrate formation and inhibition in gas/crude oil/aqueous systems. *Fuel*, 186-190.
- Ganji, H., Manteghian, M., & Rahimi Mofrad, H. (2007). Effect of mixed compounds on methane hydrate formation and dissociation rates and storage capacity. *Fuel Processing Technology*, 891-895.
- Jadav, S., Sakthipriya, N., Doble, M., & Sangwai, J. S. (2017). Effect of biosurfactants produced by *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas aeruginosa* on the formation kinetics of methane hydrates. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 156-166.
- Kelland, M. A. (2014). *Production Chemicals for the Oil and Gas Industry*. Boca Raton: CRC Press.
- Sloan jr., E. D., & Koh, C. A. (2007). *Clathrate Hydrates of Natural Gases*. Boca Raton: CRC Press.



D. R. © UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

Excepto donde se indique lo contrario esta obra está bajo una licencia Creative Commons Atribución No comercial, No derivada, 4.0 Internacional (CC BY NC ND 4.0 INTERNACIONAL).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



#### ENTIDAD EDITORA

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.

Av. Universidad 3000, Universidad Nacional Autónoma de México, C.U., Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México.

#### FORMA SUGERIDA DE CITAR:

Pavón-García, A., Elizalde-Solís, O., Zúñiga-Moreno, A., y García-Morales, R. (2023). Evaluación de la temperatura de nucleación y formación de hidratos de metano utilizando el biotensoactivo surfactina. *MEMORIAS DEL CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍA (CONATEC)*, Año 6, No. 6, septiembre 2023 - agosto 2024. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM.

[https://tecnicosacademicos.cuautitlan.unam.mx/CongresoTA/memorias2023/Mem2023\\_Paper02-E.html](https://tecnicosacademicos.cuautitlan.unam.mx/CongresoTA/memorias2023/Mem2023_Paper02-E.html)