

\* Basado en *Porosimetría gas-líquido: evaluación de un método alternativo para determinar los parámetros relevantes para el flujo en rocas porosas*, presentado en el Simposio Internacional de la Sociedad de Analistas de Núcleos, celebrado en el Valle de Napa, California, EE. UU., del 16 al 19 de septiembre de 2013.

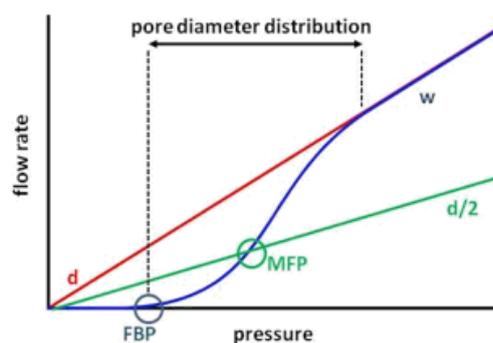
Tradicionalmente, la porosimetría por inyección de mercurio se ha utilizado para determinar los parámetros relevantes del flujo en rocas porosas, como la permeabilidad y la distribución del tamaño de garganta de poros. Sin embargo, es un proceso que insume tiempo, es destructivo y no es ecológico (requiere cantidades relativamente grandes de mercurio). Se han investigado técnicas alternativas para reducir el desperdicio, el tiempo y el costo que son, a su vez, ecológicas. La **Porosimetría gas-líquido (GLP)** es un método establecido para membranas y filtros, pero también es una alternativa demostrada para la porosimetría por inyección de mercurio para aplicaciones petrofísicas. Permite la obtención de varios parámetros e información con buena precisión y reproducibilidad en una sola y rápida medición, lo que reduce el tiempo de medición de varias horas a minutos.

## MÉTODO

En una prueba típica de GLP se debe impregnar una muestra porosa con un **líquido humectante inerte y no tóxico**, y emplear un gas inerte (por ejemplo, nitrógeno) para desplazar el líquido fuera de la red porosa (proceso húmedo). La “curva húmeda” representa el flujo de gas medido en función de la presión aplicada (inversamente proporcional al tamaño de la garganta de poro). También se mide el flujo de gas en función de la presión aplicada en la muestra seca (“proceso seco”). Se puede obtener información sobre la red porosa a partir de los datos de la curva húmeda, la curva seca y la “curva semiseca” (dividiendo por 2 los valores de flujo de la curva seca) (figura 1).

*Figura 1: Curvas de medición y parámetros resultantes en GLP (d = curva seca, w = curva húmeda, d/2 = curva semiseca, FBP = poro más grande, MFP = poro de flujo medio: tamaño de poro que representa el 50 % del flujo total de gas; tamaño de poro mínimo: calculado a la presión donde se unen las curvas húmeda y semiseca).*

Además, se puede determinar la distribución del flujo de filtro acumulativo en comparación con el tamaño del poro y el flujo de filtro diferencial corregido, que representa la distribución del flujo por unidad del cambio de tamaño (comúnmente conocido como distribución del tamaño del flujo).



## APLICACIÓN EN ARENISCAS DEL CRETÁCICO

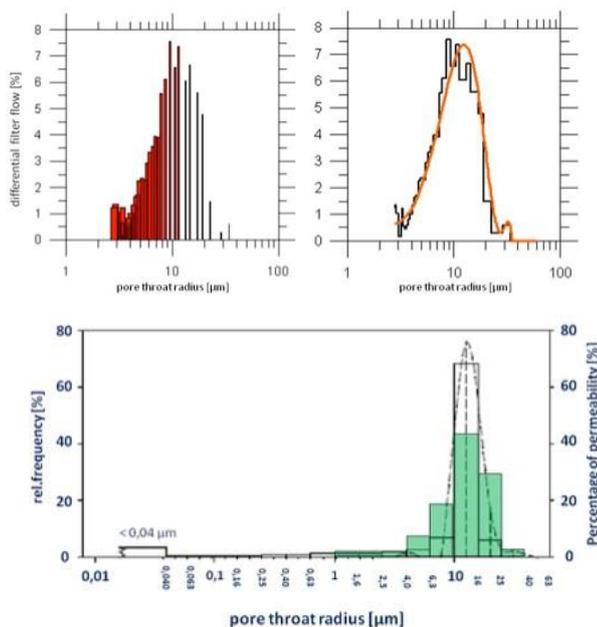
Se ha investigado en gran medida la “arenisca de Bentheimer” (arenisca de cuarzo con un 10 % a 14 % de contenido de feldespato y hasta un 6 % de arcilla) mediante el análisis de núcleos y el análisis especial de núcleos (CAL / SCAL). La microscopía electrónica de barrido y las imágenes de  $\mu$ -CT muestran que los tamaños de garganta por debajo de 5  $\mu\text{m}$  se correlacionan con redes de poros formadas por fases minerales disueltas, mientras que las gargantas menores a 500 nm se pueden atribuir a las redes de poros locales entre los minerales de arcilla (gargantas < 0,04  $\mu\text{m}$ ).

Se realizaron mediciones de GLP en cortes de 4-5 mm tomadas del extremo de la muestra, utilizando un porómetro POROLUX™ 1000 (POROMETER NV). Se llevaron a cabo análisis CAL/SCAL adicionales (permeabilidad, superficie BET, porosidad, RMN,  $\mu$ -CT) para caracterizar las correspondientes redes porosas y correlacionar los resultados de la inyección de mercurio (Hg) y la GLP.

## RESULTADOS

Las mediciones de cada muestra se repitieron seis veces con el fin de evaluar la reproducibilidad de la GLP. Cada ciclo duró aproximadamente una hora, por lo que el experimento completo se llevó a cabo en menos de siete horas, lo que equivale al tiempo necesario para realizar una única prueba convencional de inyección de mercurio (Hg) dentro del mismo rango de medición. En la figura 2 se muestra un promedio de las curvas de GLP agrupadas (a la izquierda). Para comparar los resultados directamente con la distribución convencional de los radios de los poros, en términos de intervalos de garganta de poro, es necesario aplicar un ajuste polinómico (mejor ajuste: polinomio de sexto grado; suma residual de los cuadrados: 7,45; R-cuadrado: 0.962). Este ajuste también permite

recalcular el área bajo la curva de ajuste para los mismos intervalos de tamaño que se utilizaron en el experimento de mercurio (a la derecha).



**Figura 2:** Distribución promediada y recalculada de las gargantas de poro (izquierda) y ajuste polinómico para una mejor comparación con los resultados del experimento convencional de inyección de mercurio (derecha).

A modo de comparación, los intervalos de gargantas de poro resultantes se han representado dentro de la distribución de radios de gargantas de poros obtenida mediante porosimetría por inyección de mercurio. En la figura 3 se muestran los resultados de ambas técnicas, lo que denota una buena concordancia entre ellas. Las mediciones de GLP "se dispersan" un poco más en los flancos del tamaño de garganta principal de poro, lo cual se atribuye al efecto del recálculo para comparar ambas mediciones.

**Figura 3:** Distribución de radios de gargantas de poros derivada por inyección de Hg (difuminado) y por GLP (verde claro).

## CONCLUSIONES

La porosimetría de flujo capilar (CFP) ha demostrado ser una alternativa versátil y factible para medir la distribución efectiva de radios de gargantas de poros en areniscas porosas y permeables (por ejemplo, del tipo Bentheimer). La porosimetría gas-líquido (GLP) muestra una buena reproducibilidad y una buena concordancia con los experimentos de inyección de mercurio. Debido a la combinación del uso de un fluido humectante no tóxico y la aplicación de presiones significativamente menores, esta técnica permite reutilizar muestras valiosas para investigaciones posteriores.