

# Conclusiones y Recomendaciones

## Conclusiones

La Capacidad de Intercambio Catiónico (*CEC*) es una propiedad fundamental de las arcillas que indica una medida de la habilidad que presentan éstas y algunas otras sustancias para retener e intercambiar los cationes de su superficie negativamente cargada con otros cationes del medio acuoso en el que se encuentran inmersas. Los cationes de intercambio neutralizan la carga negativa de la arcilla, por lo tanto la *CEC* también representa una medida de la concentración de este exceso de carga negativa. En este fenómeno se presenta una interacción electrostática entre la superficie de la arcilla y el agua de formación, sin cambio sustancial en la estructura de la arcilla.

La *CEC* también puede expresarse como su contribución por unidad de volumen de fluido de poro y se le denomina  $Q_v$ . La  $Q_v$  representa la concentración volumétrica efectiva de los cationes de intercambio de la arcilla en el agua de poro cuando la arena arcillosa está completamente saturada con agua. En el caso de que la arena arcillosa esté saturada tanto con agua como con hidrocarburos, el volumen de fluido de poro disponible para hidratar los cationes de intercambio es reducido; por lo tanto, la concentración volumétrica efectiva de los cationes de intercambio de la arcilla está dada por la razón  $Q_v/S_w$ .

La *CEC* es la causa del aumento de la conductividad eléctrica total en las formaciones arcillosas; este componente de conductividad asociado con la arcilla es independiente de la conductividad eléctrica del agua libre. Debido a que los cationes de intercambio de la arcilla conducen una corriente eléctrica solamente cuando están hidratados con agua, la contribución de las arcillas a la conductividad total de la roca no es medida cuantitativamente por la *CEC* por sí misma, pero sí por la *CEC* por unidad de volumen de fluido de poro,  $Q_v$ . La  $Q_v$  es necesaria para mantener la neutralidad eléctrica en las formaciones arcillosas.

Para conocer el valor cuantitativo de la *CEC*, necesitamos medir la cantidad de cationes que se intercambian cuando una muestra arcillosa – previamente lavada, secada, triturada y tamizada – se pone en contacto con una solución acuosa; de esta manera podemos obtener la *CEC* de arcillas puras y rocas arcillosas. La *CEC* se expresa comúnmente en *meq/100 g*. Para obtener la contribución por unidad de volumen de poros de la *CEC* ( $Q_v$ ), dividimos el valor de la *CEC* obtenido de una muestra de roca arcillosa entre el volumen de poros de la misma ( $V_p$ ). La  $Q_v$  se expresa por lo común en *meq/cm<sup>3</sup>*.

El método de azul de metileno (*MBT*) para determinar la *CEC* es un método sencillo, rápido y económico, en comparación con otros métodos. Si se aplica con el debido cuidado se tendrán resultados confiables.

Por ejemplo, el valor de la *CEC* obtenido para cada unas de las muestras en la parte experimental de esta tesis (Capítulo 5), al compararlos con los valores reportados por Pemex (Tabla 2.5), indica que las muestras arcillosas analizadas tienen un grado de “reactivo” a “muy reactivo” con los fluidos en los que se encuentran inmersas. La menos reactiva es una muestra de mudstone arcilloso y las más reactivas son las muestras de mudstone bentonítico y de lutita 100%. Ese alto grado de reactividad indica que en esos intervalos las arcillas interactúan fuertemente con el agua de formación o con otras aguas que se hayan introducido al yacimiento. Una consecuencia de esto es que las arcillas presenten más facilidad de flocular o deflocular cuando se altera su equilibrio con el agua de formación, ocasionando un daño a la formación por pérdida de la permeabilidad.

El alto valor de *CEC* para las muestras indica que en la formación habrá una mayor pérdida de la permeabilidad, sobre todo en los intervalos que contienen al mudstone bentonítico y a la lutita 100%, ya que la permeabilidad disminuye con el aumento en el valor de la *CEC*.

Este valor de *CEC* también indica que las muestras de mudstone bentonítico y lutita 100% son las que presentan el mayor contenido de arcilla ( $V_{sh}$ ). Con el valor de la *CEC* podemos obtener el  $V_{sh}$  de la muestra; éste servirá para calibrar el  $V_{sh}$  obtenido a partir de datos de los registros geofísicos de pozos, ya que la *CEC* es un parámetro de medición independiente de ellos. Además, entre más indicadores utilicemos, el valor de  $V_{sh}$  será más confiable. Este valor de *CEC* por sí mismo no indica precisamente los tipos de minerales de arcilla que contiene cada muestra; estos se pueden determinar con un análisis de difracción de rayos *X* de la muestra o con microscopio electrónico de barrido (*SEM*).

Otro dato que aporta el valor de la *CEC* es que, en los intervalos de donde se tomaron las muestras, la formación tendrá una mayor cantidad de agua ligada y como ésta ocupa una parte del espacio poroso, entonces la porosidad efectiva de la formación disminuirá (con el aumento en el valor de la *CEC*).

Con el valor de la *CEC* de una muestra en particular y el  $V_p$  de la misma, podemos obtener la  $Q_v$  de la muestra. La  $Q_v$  la podemos utilizar posteriormente en los modelos de Waxman – Smits o Dos Aguas, para poder calcular la saturación de agua ( $S_w$ ) del intervalo correspondiente de donde se tomó la muestra. En el yacimiento, el alto valor de *CEC* indica una menor  $S_w$  (ya que ésta proviene de la porosidad efectiva).

## Recomendaciones

Muy pocos yacimientos están libres de minerales de arcilla. Las arcillas con altos valores de *CEC* tienen un gran efecto sobre las propiedades petrofísicas y eléctricas de la formación, lo que resulta en problemas de caracterización de las formaciones arcillosas.

La característica más importante de un mineral arcilloso es su *CEC*. El conocimiento de la *CEC* es muy importante ya que este fenómeno indica la manera en la cual la conductividad de los cationes de intercambio del agua ligada de la doble capa eléctrica actúa en el espacio poroso, lo que afecta a los cálculos de la conductividad total de las formaciones arcillosas y en consecuencia a la evaluación de la  $S_w$  en estas formaciones.

Además de conocer el fenómeno de la *CEC*, también es importante conocer los métodos utilizados para determinar su valor. Una vez que sepamos cómo se obtiene el valor de la *CEC*, podemos ocuparla como un parámetro en la medición de propiedades petrofísicas, tales como permeabilidad, volumen de arcilla, porosidad efectiva, conductividad y saturación de agua en formaciones arcillosas.