

Reservorios Tight. Calibración de perfiles eléctricos y estimación de la salinidad del agua mediante medición directa sobre coronas no-preservedas.

Autores: Marcelo A. Crotti, Diana M. A. Masiero y Marcelo A. Cabrera - INLAB S.A.

Resumen

Durante la exposición prolongada a condiciones atmosféricas, las coronas suelen perder parte del agua intersticial por evaporación. En el proceso las sales permanecen en el medio poroso, pero la roca se hace más resistiva.

La técnica desarrollada recurre al agregado progresivo de agua hasta restaurar, en la corona, la resistividad medida en los perfiles eléctricos. La cuantificación del contenido de agua y sales, luego de la restauración, permite estimar la salinidad original del agua intersticial. Estos parámetros junto con las medidas eléctricas y petrofísicas permiten calibrar los registros de pozo.

La metodología es sólo aplicable a sistemas no invadidos con filtrados de los fluidos de perforación en base acuosa, por lo que resulta particularmente útil en rocas de muy baja permeabilidad.

Introducción

INLAB ha desarrollado y puesto en marcha la Metodología de Medición Especial sobre rocas tipo “tight”^{(1) (2)}. La estrategia básica es la medición de las propiedades de interés en zonas no alteradas del medio poroso. De esta manera se respetan las condiciones existentes en el reservorio y se evitan el empleo de operaciones intermedias y modelos simplificados.

El requisito para aplicar este modelo es que la muestra se encuentre “preservada”. Para verificar esta condición se realiza en laboratorio un chequeo básico de sus propiedades eléctricas: se mide la resistividad del testigo, se lleva el valor a condiciones de reservorio y se lo compara con los datos de perfiles de pozo.

Una vez comprobada dicha preservación, se procede a la medición directa de salinidad (sal y agua intersticial), contenido de hidrocarburos, parámetros de petrofísica básica (porosidad y permeabilidad al gas estándar y NOBP) de la muestra en estado nativo y lavada, y posterior cálculo de la saturación de agua de la misma.

Esta técnica permite obtener Sw, Salinidad y parámetros eléctricos, sólo cuando la corona que llega al laboratorio no sufrió alteraciones durante la extracción, traslado y/o almacenamiento. **La Resistividad es el parámetro de control.**

Los valores de salinidad son particularmente útiles en aquellos reservorios en los cuales no hay producción de agua y por lo tanto no es posible tomar una muestra de la misma para realizar un análisis físico químico y medición de resistividad (Rw).

Adicionalmente, en Reservorios tipo "Tight", la saturación de agua (S_w) es una propiedad muy importante que suele ser difícil de evaluar correctamente y en muchos casos presenta valores "anómalos"⁽³⁾

Como ya se mencionó, en este trabajo se presenta una metodología de laboratorio destinada a obtener valores representativos de S_w , junto con datos de salinidad y parámetros eléctricos, mediante mediciones sobre Coronas no-Preservadas.

Para ello se partió de lo que puede considerarse una suposición "razonable":

- El aumento de resistividad, en coronas no preservadas, es producto sólo de la evaporación del agua del medio poroso

En consecuencia, el contenido de sales de la corona preservada y la no-preservada debe ser mismo.

Metodología

La metodología es sólo aplicable a sistemas no invadidos con filtrados de fluidos de perforación en base acuosa, con la situación favorable generada en las propias rocas "Tight" que son más difíciles de invadir que las rocas "convencionales" de media o alta permeabilidad.

La técnica consiste en el agregado progresivo de agua dulce, hasta restaurar, en la corona, la resistividad medida en los perfiles eléctricos. El análisis de laboratorio a partir de este punto es similar al de una corona preservada.

Resultados – Chequeo y Mediciones realizadas

La técnica se probó con aparente éxito en un reservorio en que sólo se disponía de muestras de coronas sometidas a evaporación severa. Luego de la restauración de resistividad, la salinidad del agua dio cercana a 60,000 ppm en todas las muestras con valores de S_w entre 30 y 55%.

Para validar el resultado como caso "exitoso", se generalizó la técnica mediante una serie de chequeos independientes:

A. Cinética de Absorción

El ensayo que se describe a continuación se realizó para determinar la capacidad y velocidad de absorción capilar en rocas tipo "tight".

Descripción del ensayo:

- Se colocó una muestra de porosidad 11% y permeabilidad al gas standard de 0.41 mD (previamente secada en estufa por 48 horas a 90°C) en una cubeta con agua, sumergiéndola 2 mm en el líquido. A intervalos regulares se retiraba la muestra, se secaba el remanente de agua superficial y se registraba el peso en cada etapa.
- El ensayo se efectuó utilizando dos tipos de agua:
 - * Agua destilada
 - * Salmuera de 130,000 ppm
- Los resultados se pueden apreciar en la **Figura 1**.

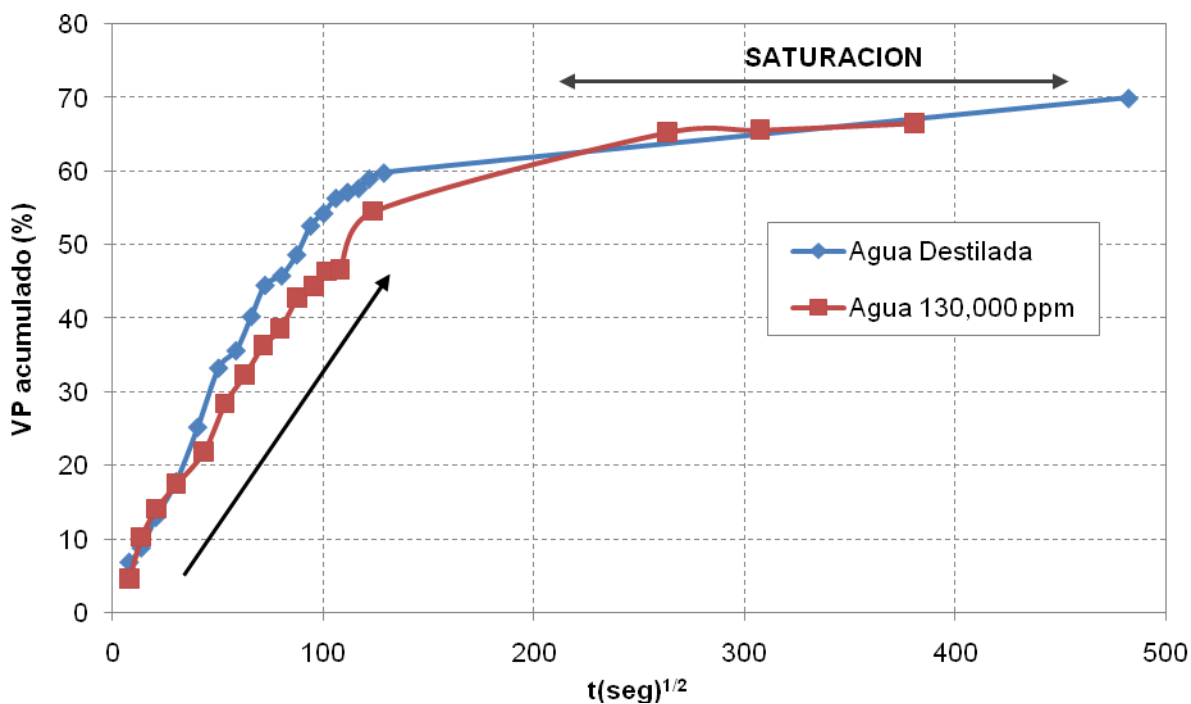


Figura 1: Volumen poral saturado de la muestra en función del tiempo

Conclusiones Cinética de Absorción

- ✓ La saturación del 50% del volumen poral de la muestra se alcanzó para el caso del agua destilada en 2.25 hs, mientras que para el agua de 130,000 ppm de NaCl en 4 hs. Este resultado estaría indicando que la velocidad del mecanismo de absorción es casi independiente de la salinidad del agua.
- ✓ El fenómeno de absorción es un proceso lo suficientemente rápido para lograr estabilizaciones en mediciones rutinarias de laboratorio.

B. Simulación de Condiciones de No Preservación

Se trató de reproducir en laboratorio las condiciones de no preservación de muestras, para "a posteriori" aplicar la técnica de restauración de resistividad, objeto del presente trabajo.

Descripción del ensayo:

- Se seleccionaron 4 muestras limpias y secas con valores de petrofísica básica adecuada. **(Tabla 1)**
- Se las llevó a condiciones de saturación con solución de NaCl de 130,000 ppm.
- Se midió resistividad a las muestras en dichas condiciones. **(Tabla 2)**
- Se procedió a efectuar drenaje del líquido por método de la centrifuga hasta lectura estable. Luego se pesó y se midió la resistividad hasta comprobar la constancia de esta propiedad. **(Tabla 3)**
*Nota: se tomó como **referencia** este valor de resistividad medido a la saturación de agua obtenida por el método de la centrifuga.*
- Las muestras se llevaron a estufa a 105°C para evaporar el agua hasta peso constante. Una vez alcanzada la condición de peso constante se midió nuevamente la resistividad. **(Tabla 4)**
- A dichas muestras se las sometió a rociado con agua destilada. Luego de secar el excedente de agua superficial, se conservaron en bolsas de polietileno en heladera por 8 horas.
- Se controló el peso, se midió resistividad y se repitió el proceso de rociado y medición hasta alcanzar el valor de resistividad original o de referencia. **(Figuras 2, 3, 4 y 5)**

Muestra	Longitud [cm]	Diámetro [cm]	Porosidad [%]	VP [cm ³]	K gas std. [mD]
1	3.321	2.469	10.6	1.69	0.081
2	3.654	2.475	10.9	1.92	0.118
3	2.026	2.477	11.5	1.12	0.266
4	2.389	2.477	10.2	1.17	0.124

Tabla 1: Características petrofísicas de las muestras seleccionadas

Muestra	Resistividad @ VP saturado [Ohm.m]
1	6.48
2	6.22
3	4.32
4	6.31

Tabla 2: Resistividad de las muestras a VP saturado con agua de 130,000 ppm NaCl @ 25°C

Muestra	Sw [% VP]	Resistividad @ Sw centrífuga [Ohm.m]
1	62.6	18.6
2	57.5	20.9
3	40.6	14.8
4	48.2	15.1

Tabla 3: Resistividad de las muestras luego de centrífuga @ 25°C. **Valor de Referencia**

Muestra	Resistividad @ (Sw ≈ 0 % VP) [Ohm.m]
1	78,600
2	107,100
3	56,660
4	94,180

Tabla 4: Resistividad de las muestras a Sw ≈ 0 % VP @ 25°C.

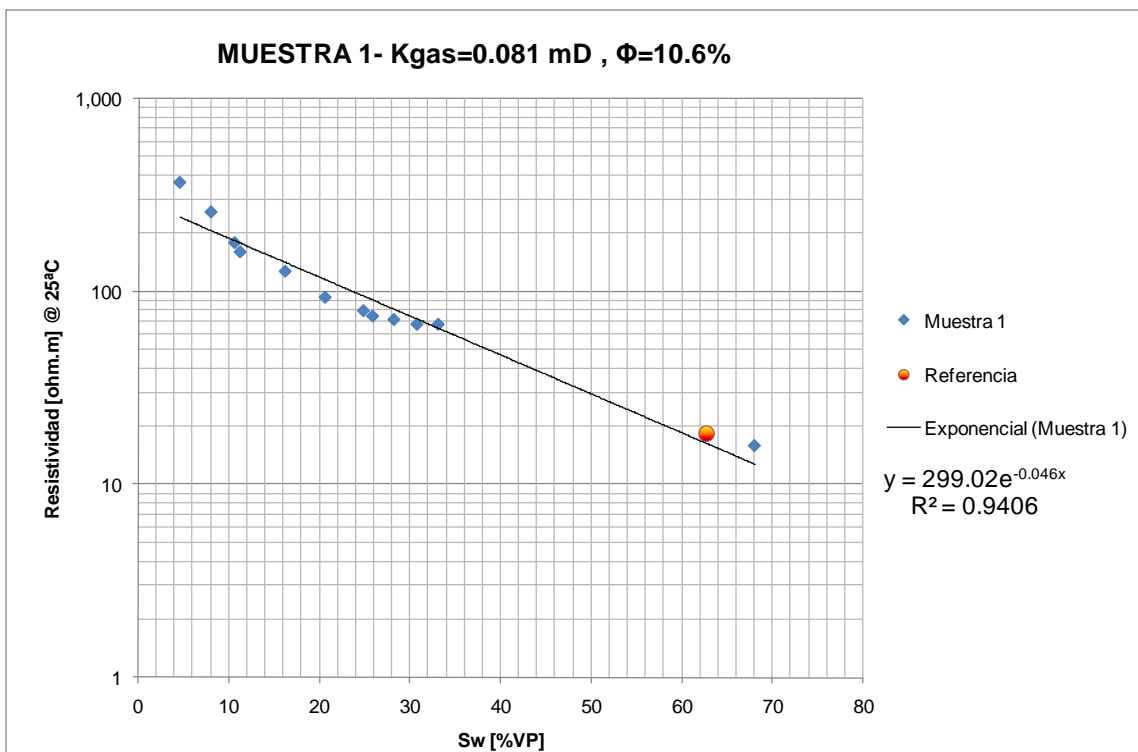


Figura 2: Resistividad vs. Sw de la Muestra 1

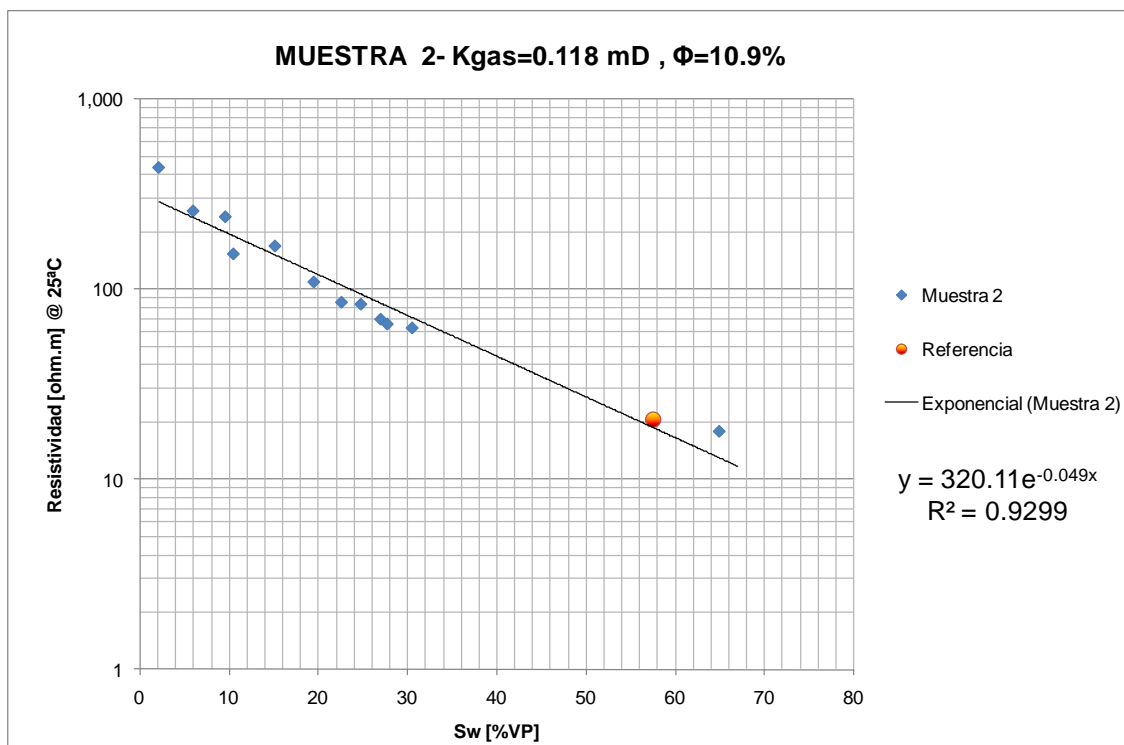


Figura 3: Resistividad vs. Sw de la Muestra 2

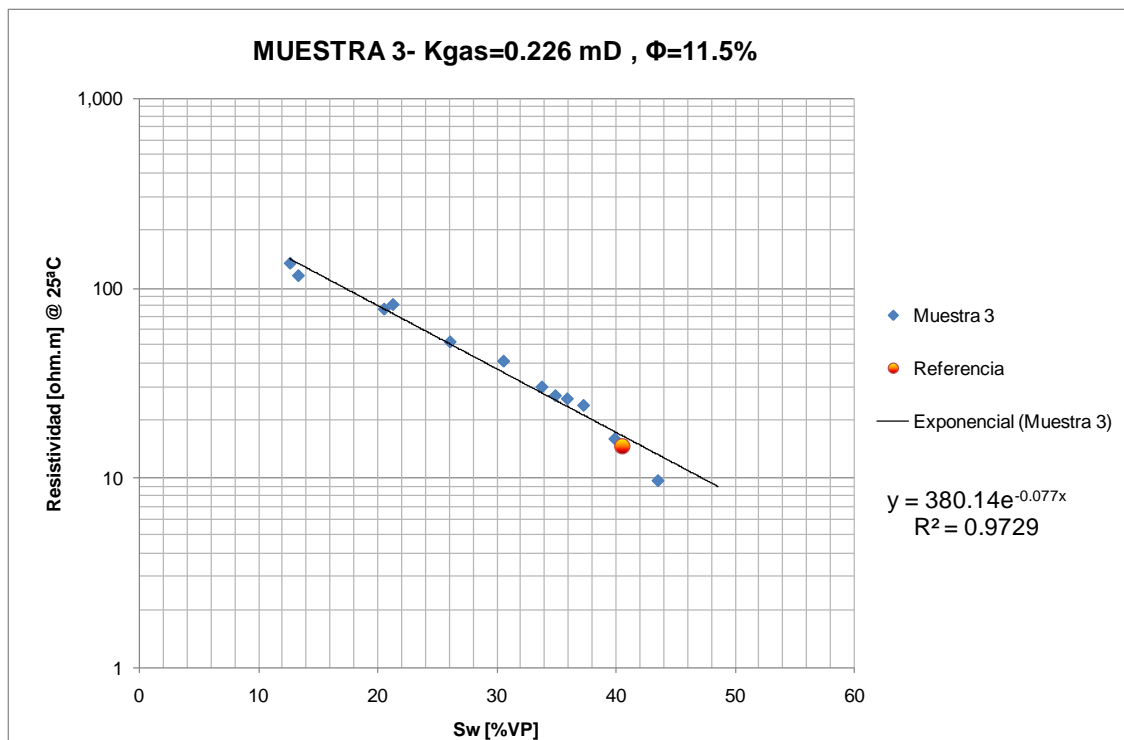


Figura 4: Resistividad vs. Sw de la Muestra 3

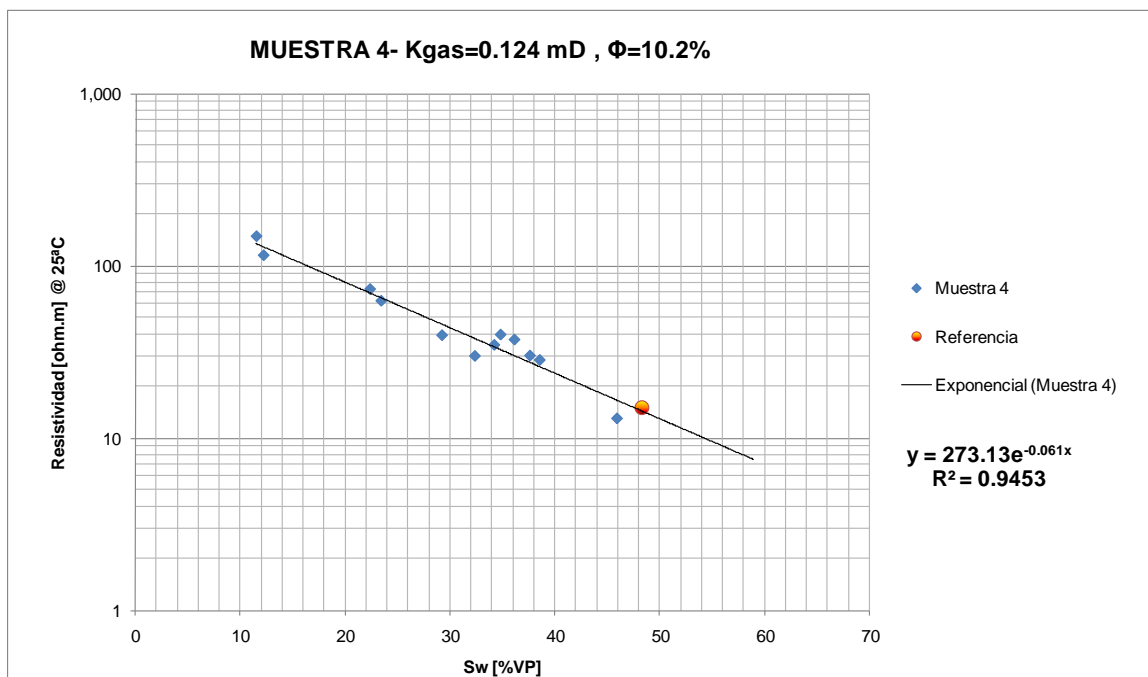


Figura 5: Resistividad vs. Sw de la Muestra 4

Conclusiones Simulación de Condiciones de No Preservación

- ✓ Mediante regresión de los datos experimentales hallamos el valor de Sw a la resistividad de referencia, como se aprecia en la **Tabla 5**.

Muestra	Resistividad Referencia [Ohm.m]	Sw Referencia [% VP]	Sw (calculada por regresión) [% VP]	Error relativo [%]
1	18.6	62.6	60.4	3.6
2	20.9	57.5	55.7	3.1
3	14.8	40.6	42.2	3.9
4	15.1	48.2	47.5	1.5

Tabla 5: Saturación de agua de las muestras estudiadas, calculada por regresión lineal, a partir de los datos experimentales

Conclusiones y Comentarios

- En escenarios Tight es posible extender la técnica de determinación de Sw y parámetros eléctricos, ya aplicable a coronas preservadas, a aquellos casos en que sólo se disponga de roca no-preservada.
- Este resultado es muy alentador debido a la importancia que reviste el valor de Sw en estos reservorios.

Referencias

- (1) <http://www.inlab.com.ar/BajaPerm1.ppt>
- (2) <http://www.inlab.com.ar/BajaPerm2.ppt>
- (3) M. A. Crotti. "[*Water Saturation in Tight Gas Reservoirs*](#)". SPE 107145. SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference held in Buenos Aires, Argentina, 15–18 April 2007