

DETERMINACION DE POROSIDAD EN ARENAS TOBIFERAS DE LA CUENCA  
AUSTRAL CUANDO SE DISPONE DEL GRAFICO SONICO-DENSIDAD

Rubén A. Gutierrez y Roberto F. Santiso  
Yacimientos Petrolíferos Fiscales  
Buenos Aires, República Argentina

RESUMEN

De 11 pozos de la Cuenca Austral se representaron unos 100 puntos de formaciones tobáceas. Una tercera parte aparece al NO. de la recta de arenisca. Fijado tentativamente el punto correspondiente a 100 % de toba, se puede obtener un volumen de toba en forma similar al caso de las arcillas y corregir así la porosidad por toba. Este procedimiento presupone que la toba actúa disminuyendo la porosidad sin analizar el mecanismo físico del fenómeno. La representación confirma que la porosidad calculada con el sónico sufre poca variación por toba.

ABSTRACT

100 points in tuffites from 11 wells in the Austral Basin were plotted in a ( $\rho_p, \Delta T$ ) crossplot. One third is NW the sandstone line. The 100% toba point is determined tentatively and thus a tuffite volume is obtained as it is done with clays. So porosity may be corrected for tuffite content. This method assumes that tuffite diminishes porosity without caring about the physical mechanisms of the phenomenon. Drawing confirms that sonic log is not much affected by tuffites.

1. INTRODUCCION

Cuando se perfora un pozo en busca de hidrocarburos, uno de los parámetros de mayor interés es la porosidad, que se define como porcentaje del volumen total de roca ocupado por fluidos (o espacios vacíos). Para determinarla se usan varias herramientas que miden parámetros físicos a partir de los cuales se puede deducir (Grau, 1980). Si se mide la densidad de una formación geológica, podremos calcular la porosidad cuando conocemos la

densidad de la fracción sólida (que en este trabajo llamaremos matriz, aunque el término no es petrográficamente correcto) y la del fluido que colma los poros:

$$\phi_D = (\rho_{ma} - \rho_b) \div (\rho_{ma} - \rho_f)$$

$\phi_D$  = porosidad deducida del perfil de densidad.  
 $\rho_{ma}$  = densidad de la matriz  
 $\rho_f$  = densidad del fluido  
 $\rho_b$  = densidad leída por la herramienta.

Para las rocas más comunes entre las vinculadas a las acumulaciones de petróleo son conocidos esos parámetros. En el caso de la arcilla se produce un fenómeno especial: cierta cantidad de moléculas de agua quedan adheridas a las partículas de arcilla y representan un cierto volumen poral no aprovechable. Por esta razón se determina el volumen de arcilla con otras herramientas y se corrige la porosidad con lo que se obtiene la porosidad efectiva que es la necesaria para la evaluación del reservorio.

La misma corrección hay que aplicar a la porosidad deducida del perfil sónico:

$$\phi_s = (\Delta T - \Delta T_{ma}) / (\Delta T_f - \Delta T_{ma})$$

$$\phi_s = \text{porosidad deducida del perfil sónico.}$$

Los T son los tiempos de tránsito de una onda sonora entre dos receptores y se dan en microsegundos por pie. Esta porosidad es mucho más afectada por la arcilla.

El tercer perfil de porosidad es el neutrónico que refleja directamente la cantidad de hidrógeno en la formación y así da una medida de la porosidad (supuesto que los poros estén colmados de agua). También influyen la litología y la arcilla que en este caso tiene aún más efecto que en el sónico.

En Argentina en las Cuencas del Golfo San Jorge y Austral, se encuentra petróleo o gas asociados a tobas o tobas arenosas.

Este es un material muy heterogéneo y hay pocos estudios para determinar los parámetros básicos que nos permitan el cálculo de la porosidad. La toba tiende a disminuir la porosidad. No se sabe el motivo: puede deberse en parte a la presencia de granos sumamente finos que retengan moléculas de agua en forma parecida a la arcilla, y en parte al desconocimiento de la respuesta de las herramientas a la matriz tobácea de composición mineralógica muy variable y que contiene minerales poco comunes en otras rocas sedimentarias.

## 2. ANTECEDENTES

El problema de las arenas tobáceas en la Cuenca del Golfo san Jorge, fue tratado por Lesta y Khatchikián (Sadras, 1973). El carácter heterogéneo de las tobas dificulta la interpretación y aún a nivel mundial la bibliografía es escasa, quizá por ser poco frecuente que tengan producción petrolífera. Se pueden distinguir tres casos: si la roca está compuesta de piroclastos o cenizas volcánicas más o menos consolidadas se llama toba. Si tiene un pequeño contenido de arena, se llama toba arenosa. A mayor contenido de arena será una arenisca tobácea. Generalmente se admite que en dos formaciones tobáceas de igual porosidad aparente e igual arcillosidad, a mayor cantidad de piroclastos, menor permeabilidad, mayor resistividad y menor perspectiva de producción. Esta circunstancia se basa en la experiencia, de carácter más o menos subjetivo pues se carece de estadísticas.

Se recuerda que para calcular la saturación de hidrocarburos (porcentaje de poros con petróleo en un volumen poral unitario), interesa la porosidad efectiva que es la que puede estar ocupada por petróleo móvil. La toba, al igual que la arcilla, actúa disminuyendo la porosidad efectiva.

En el trabajo citado de Sadras (1973), se procede así: Se parte de tres perfiles de porosidad: sónico, neutrónico y gamma-gamma (densidad). Con ellos se hace el diagrama M-N (marca registrada por la Compañía Schlumberger):

$$M = (\Delta T_f - \Delta T) \% (\rho_b - \rho_f) \cdot 0,01 \quad f = \text{fluido}$$

$$N = (O_{Nf} - Q_N) \% (\rho_b - \rho_f) \quad b = \text{valor leído en el registro.}$$

Ver fig. 1. En este gráfico se ubican: el punto toba pesada (punto C), el punto toba liviana (punto B) y cuarzo (arenisca, punto A). Los puntos B y C se ubican estadísticamente en la dirección respectiva y se supone que corresponden a 100 % de toba pesada y toba liviana. El punto de cuarzo ya es conocido. De este gráfico se deduce el porcentaje de cada uno de los tres componentes. Si el volumen total de tobas supera el 10 %, calculan la porosidad con el sónico, la corrigen por arcilla si es el caso y usan el resultado como porosidad efectiva. Al corregir la arcillosidad, también corregimos hasta cierto punto la influencia de la toba pesada pues el punto C que la identifica está en la misma dirección y bastante cercano al punto arcilla, pues admitimos que los efectos son lineales. El punto arcilla es el que resulta de graficar los valores que resultan de leer los tres perfiles de porosidad en un tramo 100 % arcilloso para una determinada formación. En las cuencas patagónicas de Argentina al punto arcilla le corresponden valores aproximados de 10 % para la porosidad del gamma-gamma y 30 % para la porosidad del sónico, ambas calculadas en matriz cuarzosa y correspondientes a una densidad de 2,48 gr/cm<sup>3</sup> y un tiempo interválico de 94. Para la corrección necesitamos el volumen de arcilla. Este puede deducirse con el perfil de rayos gamma naturales, pero como las tobas tienen material radiactivo hay que recurrir a otros métodos. Al existir cuatro componentes: tobas liviana y pesada, cuarzo y arcilla, el problema es muy complejo, sobre todo teniendo en cuenta que la arcilla puede contener 3 ó 4 minerales en proporciones variables. Si en el gráfico (M-N), la arcilla desplaza los puntos hacia el SO, el gas los corre hacia el NE., siguiendo la dirección indicada por el punto toba liviana. Con criterio parecido al anterior podríamos corregir el efecto de la toba liviana, lo que simultáneamente corregiría al menos parte del efecto provocado por la presencia de gas.

### 3. CASO EN QUE SE DISPONE DE SOLO DOS PERFILES DE POROSIDAD (SONICO Y DENSIDAD)

En este caso hay que recurrir al gráfico de fig. 2 ( $\rho_b, \Delta T$ ), único factible (para el gráfico (M-N) falta el perfil neutrónico). En la fig. 2 se volcaron más de un centenar de puntos sacados de 10 pozos de la Cuenca Austral.

Unos 30 puntos caen por encima de la recta de arenisca. Esto nos indica que se trata de tobas livianas. El componente más liviano de esa toba es la analcima de densidad 2,27 gr/cm<sup>3</sup>. Si se tratara de una mezcla de feldespatos alcalinos su densidad promedio es de 2,55 gr/cm<sup>3</sup>.

### 4. CORRECCION DE TOBA LIVIANA

En el gráfico N° 2, tomamos como punto de toba liviana el B, es decir que lo suponemos representativo de valores correspondientes a un 100 % de toba liviana. En este caso obtenemos una densidad de 2,34 gr/cm<sup>3</sup>, valor demasiado bajo, probablemente por efecto del gas, pero procederemos de igual manera que en el caso de toba pesada y arcilla, así al corregir por toba, simultáneamente corregimos (en parte) el efecto del gas. Como punto de referencia, determinaciones de laboratorio en testigos tomados en tramos de toba liviana en un pozo de la Cuenca Austral, dieron una densidad media de 2,47 gr/cm<sup>3</sup> con un mínimo de 2,44 gr/cm<sup>3</sup>. No se dispone de valores de velocidad del sonido en testigos.

Por lo tanto en el mencionado gráfico N° 2, el punto B de toba liviana tiene los siguientes valores:

$$\rho_{ma} = 2,34 \text{ gr/cm}^3 \quad \Delta T_{ma} = 64 \text{ } \mu\text{seg/pie}$$

Entre el punto de 100 % de toba liviana y el punto de agua ( $\rho = 1 \text{ gr/cm}^3$ ;  $\Delta T = 189 \text{ } \mu\text{seg/pie}$ . si es agua dulce) dividimos en 100 unidades de porosidad (tanto por ciento). Para cualquier punto que caiga entre las rectas de toba liviana y cuarzo, la porosidad se lee sobre las mismas, llevando una paralela a AB. Obviamente, la inversa de la distancia a las rec-

tes (sobre la línea paralela al segmento AB) de los porcentajes de cuarzo y toba liviana.

En fig. N° 3 damos un ejemplo. Sea un punto M con los siguientes valores:

$$\rho = 2,35 \text{ gr/cm}^3 \quad \Delta T = 70 \mu\text{seg/pie};$$

Si solo tuviéramos arenisca (cuarzo), la porosidad se leería en el pie de la perpendicular desde M a la recta de arenisca: = 15 %. Si solo hay toba liviana, por un procedimiento similar tendríamos 2 %. En cambio, si es una mezcla de ambos componentes, con una paralela a AB leemos 8 %: implícitamente admitimos que en ese punto hay un 42 % de arenisca y un 48 % de toba liviana.

Si hubiera toba pesada al mismo tiempo que liviana y cuarzo, con solo dos perfiles de porosidad, no habría solución segura al problema pues no se puede recurrir al mencionado diagrama (M-N). Como una aproximación, si se dispone de datos de otros pozos de la misma formación y no muy lejanos, se pueden usar los mismos valores para los puntos de toba liviana y toba pesada. Otro método sería usar solo el perfil sónico para calcular la porosidad, pero es un procedimiento inseguro porque dicho perfil en algunos casos no "ve" la porosidad secundaria (fracturas, fisuras, porosidad vugular de calizas, etc.). Aún con porosidad primaria (granular) se cometen errores a veces apreciables; en el ejemplo anterior:

$$\phi_s = (70 - 55,5) \% (189 - 55,5) = 11 \%$$

$$\phi_s = \text{porosidad según el perfil sónico}$$

matriz: cuarzo, fluido: agua dulce

Este valor es 3 unidades mayor que el calculado antes (37,5 % mayor).

##### 5. DATOS ADICIONALES

Recientemente se tuvieron datos de laboratorio. Las tobas pesadas dieron densidades de matriz 2,62 y 2,68 gr/cm<sup>3</sup>, valores

que confirman el usado en la interpretación de un pozo que contaba con los 3 perfiles de porosidad.

Para tener idea de la complejidad litológica de las tobas, damos la descripción de un testigo de una profundidad superior a los 4.000 m y a la cual se midieron con los perfiles una densidad de 2,48 gr/cm<sup>3</sup> y un tiempo interválico de 62  $\mu$ seg/pie (en el gráfico da un 50 % de toba liviana): Fragmentos pequeños y escasos de cuarzo volcánico, feldespatos y restos de vulcanitas, todo cementado por un polvo fino incipientemente cloritizado. Asimismo se observan burbujas aisladas bien conservadas rellenas de calcedonia radial.

El laboratorio dió una densidad de matriz de 2,48 % y una porosidad próxima al 1 % y en el gráfico ( $\int_b, \Delta T$ ) leemos un 2 %. Si se hubiera supuesto una matriz de cuarzo, el mismo gráfico da 8 %, valor que llega al 10 % si solo consideramos el perfil de densidad, dejando de lado el sónico:

$$\varnothing_D = (2,65 - 2,48) \% (2,65 - 1) = 10 \%$$

Usando únicamente el sónico tendríamos:

$$\varnothing_S = (62 - 55,5) \% (189 - 55,5) = 5 \%$$

Como habíamos dicho, este valor se aproxima más al real.

Para terminar vale la pena hacer mención a una nueva herramienta de porosidad. Cuenta con un emisor radiactivo más potente y además de la densidad puede obtener valores del llamado factor fotoeléctrico (Pe), parámetro éste que permite una mayor discriminación litológica pues las respuestas de los distintos tipos de rocas difieren del gamma-gamma.

Hay todavía muy poca experiencia para encarar su estudio en relación a las tobas. Como resultado preliminar en el caso de un pozo 9 puntos en toba liviana: Pe = 3,6 con un rango de 3,0 a 4,4 y 12 puntos en toba pesada: Pe = 3,7 con un rango de 3,0 a 5,0 (las unidades son arbitrarias).

Vemos que el nuevo parámetro no nos permite discernir entre toba pesada y toba liviana. En cambio se diferencia bien el cuarzo cuyo factor fotoeléctrico está entre 1 y 2 según sea la porosidad.

## 6. CONCLUSIONES

En la Cuenca Austral, al igual que en la Cuenca del Golfo San Jorge, se encuentran también espesos mantos de tobas, muchas veces con manifestaciones de gas y petróleo. El material tobáceo disminuye la porosidad efectiva. Para corregir la toba pesada se puede proceder como si fuera arcilla. La toba liviana requiere un procedimiento parecido, pero con parámetros propios de ese tipo de toba.

El perfil sónico en general da valores de la porosidad más aproximados a la porosidad efectiva y en general en exceso (si no hay porosidad secundaria).

Cuando se disponga de más experiencia se podrán evaluar mejor los parámetros de la toba. En ese caso, utilizando la información de distintos perfiles geofísicos y datos geológicos, se podrán hacer interpretaciones con computadora y considerar litologías complejas con más de tres componentes.

## BIBLIOGRAFIA

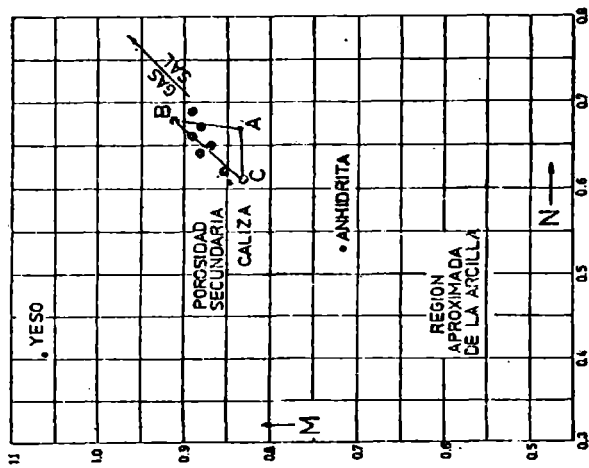
- Grau, M.A. y Santiso, R.F., 1980: Interpretación parcial de los perfiles de resistividad y porosidad en pozos profundos; presentado en la IIA. Reunión Científica de la AAGG, Tucumán (a publicar).
- Katchikian, A. y Lesta P., 1973: Log evaluation of tuffites and tuffaceous sandstones in southern Argentina; presentado al SWPLA Fourteenth Logging Symposium, Lafayette, EE.UU. de N.A.
- Sadras, W., 1973: Evaluación de formaciones en la Argentina; Schlumberger, Buenos Aires.
- Sanyal, S.K. y Juprasert, S., 1980: An evaluation of a rhyolite-basalt-volcanic ash sequence from well logs; The Log Anal-



yst, v. XXI,  $\bar{1}$ , 3 - 9.

Scott Keys, W., 1979: Borehole geophysics in igneous rocks; The  
Log Analyst, v. XX,  $\bar{4}$ , 14 - 28.

GRAFICO M-N PARA IDENTIFICACION DE MINERALES



REFERENCIAS

PUNTO A: CUARZO

$\rho_b = 2,65 \text{ gr/cm}$  ;  $\rho_f = 1,1 \text{ gr/cm}$  (todo salado)

$\Delta T_r = 185 \text{ } \mu\text{seg/pie}$  ;  $\Delta T = 55,5 \text{ } \mu\text{seg/pie}$

( $V = 18.000 \text{ pie}^3/\text{seg}$ )

( $\phi_N = 1,034$ ) ;  $N_{\text{CUARZO}} = 1,034$

$M_{\text{CUARZO}} = 0,835$  ;  $N_{\text{CUARZO}} = 0,637$

PUNTO B: TOBA LIVIANA

$M_{TL} = 0,91$  ;  $N_{TL} = 0,68$

$\rho_{TL} = 2,39 \text{ gr/cm}$  ;  $\Delta T_{TL} = 63 \text{ } \mu\text{seg/pie}$

Valores muy aproximados a los del

grafico ( $\rho_b$  ;  $\Delta T$ )

PUNTO C: TOBA PESADA

$\rho_b = 2,66 \text{ gr/cm}$  ;  $\Delta T = 55,5 \text{ } \mu\text{seg/pie}$

( $\phi_N = 1,0995$ ) ;  $N_{TP} = 0,995$

$M_{TP} = 0,82$  ;  $N_{TP} = 0,63$

$$M = \frac{\Delta T_r - \Delta T}{\rho_b - \rho_f} \times 0,01 \quad N = \frac{(\phi_N)_f - \phi_N}{\rho_b - \rho_f}$$

FIGURA 1

• Punto en tobas (según "cutting") de un pozo en Cuenca Austral

*Handwritten note:* ... *Reducido como texto*

GRAFICO DENSIDAD COMPENSADA - SONICO

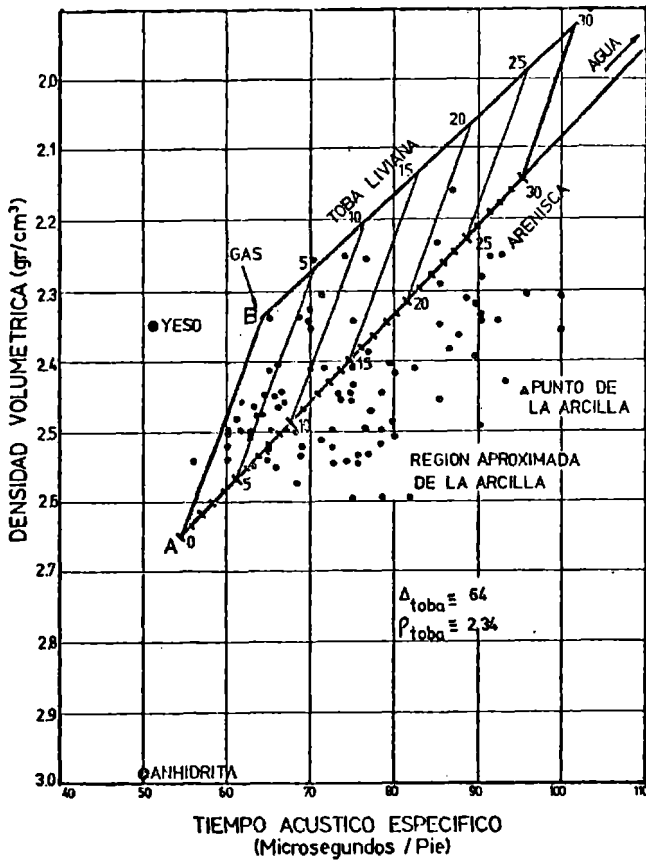


FIGURA 2

