

Solución de casos utilizando el modelo de inversión para el análisis de elementos en la interpretación geofísica de pozos.

Olga Castro Castiñeira¹ y Yarilis Gómez Martínez²

¹ *Ingeniera Geofísica. Doctora en Ciencias Geológicas. Centro de Investigaciones del Petróleo, Churrucá No. 481 esq. a Vía Blanca, Cerro, La Habana, Cuba. C.P. 11200, correo electrónico: olgac@ceinpet.cupet.cu.*

² *Ingeniera Geofísica. Centro de Investigaciones del Petróleo, Cerro, La Habana, Cuba. C.P. 11200, correo electrónico: yarilis@ceinpet.cupet.cu.*

RESUMEN

La interpretación de registros geofísicos de pozo se realiza por el modelo de interpretación secuencial, donde los parámetros se obtienen por evaluación de funciones aplicando ecuaciones independientes y no se tiene en cuenta la composición mineralógica de las rocas. Los programas proveen un modelo litológico que contempla un número limitado de rocas y minerales clásicos, para obtener rápidamente las principales propiedades de reservorio de las rocas: volumen de arcilla, porosidad y saturación de agua, donde los resultados son aproximados. Cuando se tienen formaciones con litologías diferentes, como arcosas, ofiolitas, tobas, margas, presencia de querógeno, pirita, barita y otros, este tipo de interpretación no es suficientemente informativa, ni los parámetros calculados responden al modelo. En estos casos se realiza la interpretación de registros por el modelo de inversión, método avanzado que genera un sistema de ecuaciones. Se obtiene como resultado el análisis de elementos y los registros sintetizados que mejor responden al modelo propuesto, más preciso y cercano a la realidad. Se utilizará siempre que se disponga del software apropiado para la interpretación. El objetivo de este trabajo es demostrar la ventaja del segundo modelo de interpretación sobre el primero. Para ello se utilizaron registros de pozo e información litológica, se presenta la fundamentación del modelo y se exponen ejemplos demostrativos con la comparación entre los dos modelos de interpretación de registros geofísicos para diferentes casos en los yacimientos cubanos. Los resultados demuestran la superioridad del modelo de inversión sobre el modelo secuencial.

Palabras claves: Registros geofísicos de pozos, modelo de inversión, modelo de interpretación secuencial, litología.

ABSTRACT

Well logs interpretation can be executed by the sequential interpretation model, where the parameters are obtained by evaluating independent equations, where the mineralogical composition of the rocks is not taken into account. The software offers a lithological model which provide a limited number of rocks and classic minerals, for evaluate reservoir properties rocks: clay volume, porosity and water saturation, where are approximate the results. When there are formations with different lithology, such as arkoses, ophiolites, tuffs, marls, presence of kerogen, pyrite, barite and others, this interpretation is not sufficiently informative nor the calculated parameters respond to the model. In these cases, the interpretation of logs can be performed by the inversion model, an advanced method that generates a system of equations. The result is the elemental analysis and the synthesized logs that respond to the proposed model more precise and close to reality. It can be used if the appropriate software for interpretation is available. The objective of this paper is to demonstrate the advantage of the second model of interpretation over the first. To do this, well logs and lithological information were used, the basis of the model is presented and demonstrative examples are presented with the comparison between the two models of interpretation of well logs for different cases in the Cuban oilfields. The results demonstrate the superiority of the inversion model over the sequential model.

Key words: Well logs, inversion model, sequential interpretation model, lithology.

RESUMO

A interpretação de inscrições geofísicas de bem pode ser levado a cabo para o padrão de interpretação seqüente onde os parâmetros são obtidos por avaliação de funções que aplicam equações independentes e a pessoa não se lembra de a composição mineralógica das pedras. Os programas provêm um litológico modelo que contempla um número limitado de pedras e minerais clássicos, obter as propriedades principais de reservorio das pedras rapidamente: volume de barro, porosidade e saturação de água onde os resultados são aproximados. Quando são tidas formações com litologías diferente, como arcosas, ofiolitas, tufa, marga, presença de querógeno, pira, barita e outro, este tipo de interpretação nem não é suficientemente informativo os parâmetros calculados respondem ao padrão. Nestes casos ele/ela é levado fora a interpretação de inscrições para o padrão de investimento, método avançado que gera um sistema de equações. É obtido a análise de elementos e as inscrições sintetizadas como resultado aquele melhor eles respondem ao padrão proposto, mais preciso e mais próximo à realidade. Você para usar sempre que ele/ela tem o software apropriado para a interpretação. O objetivo deste trabalho é demonstrar a vantagem do segundo modelo de interpretação primeiro no. Porque eles eram bem usados isto inscrições e litológica de informação, ele/ela espetáculos para cima a fundação do padrão e exemplos demonstrativos estão expostos com a comparação entre os dois modelos de interpretação de inscrições geofísicas para casos diferentes nos locais cubanos. Os resultados demonstram a superioridade do padrão de investimento no padrão seqüente.

Palavras chaves: Logs de poço, modelo de inversão, modelo de interpretação seqüencial, litologia.

INTRODUCCIÓN

Según Alfonso Roche (1980), las deficiencias fundamentales de los métodos geofísicos en general son:

1. No poseen una tarea inversa única.
2. Las magnitudes estudiadas constituyen índices indirectos del objetivo real cuando son estudiadas aisladamente.

Se necesita tener un modelo de partida sobre el

que se realizarán las investigaciones. Se entiende como modelo, la representación simplificada del objeto real, que se define para las tareas geológicas. Para la tarea directa de la geofísica se tiene un modelo definido geométricamente, al que se le dan valores a sus parámetros y se obtiene la respuesta del campo físico en particular para el cual es válido el modelo.

La respuesta es única para un modelo dado.

Para el problema inverso se necesita también un modelo en particular, pero lo que se tiene son las observaciones del campo físico, a partir de las cuales deben estimarse los parámetros que son capaces de producir estas observaciones.

Siempre será posible encontrar más de un juego de parámetros del modelo, compatible con las observaciones (soluciones múltiples).

Si la respuesta difiere solo en el error de las mediciones con los datos, se tendrá una solución aunque no tenga que ver con la realidad geológica.

Solución de compromiso significa que las técnicas no dan lo que se desea, sino lo que puedan a partir de los datos de que se disponga. Es una solución entre lo que se desea encontrar y lo que es posible extraer a partir de la información disponible *a priori*.

Para la petrofísica en particular se establece el modelo de reservorio basado en su composición litológica y su tipo de porosidad, por lo que se plantea el problema de no tener un modelo petrofísico lo más cercano posible a la realidad cuando en las formaciones aparecen litologías complejas.

Existen diferentes formas de interpretación de registros de pozos para las cuales se utiliza un modelo de reservorio que debe ajustarse lo mejor posible a la realidad.

La definición de la composición y la porosidad de una roca por registros se hace utilizando la información disponible de:

- Análisis y descripciones de muestras de núcleos y ripios o cortes (muestras de canal).
- Registros disponibles.
- Gráficos de composición o gráficos cruzados (*crossplots*), teniendo en cuenta que en ellos aparecen efectos secundarios que también se calculan cuantitativamente.

La interpretación de registros se realiza por el modelo convencional, o interpretación secuencial, donde los parámetros se obtienen por evaluación de funciones

aplicando ecuaciones independientes (Barson, 2005). Para este trabajo, no se tendrá en cuenta la composición mineralógica de las rocas; en todo caso, los programas proveen un modelo litológico a partir de los gráficos de propiedades cruzadas, que contemplan un número limitado de rocas y minerales, fundamentalmente: calcita, dolomita, cuarzo y anhidrita. Esta es una forma rápida de obtener las principales propiedades de reservorio de las rocas: volumen de arcilla, porosidad y saturación de agua, y además los resultados son aproximados.

Cuando se tienen formaciones con litologías diferentes, como arcosas, ofiolitas, tobas, margas, presencia de querógeno, pirita, barita y otros, este tipo de interpretación no es suficientemente informativa, ni los parámetros calculados responden al modelo.

También se lleva a cabo la interpretación de registros por el modelo de inversión, método avanzado que permite una combinación que genera un sistema de ecuaciones y que da como resultado los volúmenes de componentes y los registros sintetizados que respondan al modelo propuesto. Este es el análisis de elementos, los resultados son más precisos y cercanos a la realidad, y requiere utilizar información adicional de forma adecuada (Barson, 2005).

El objetivo del trabajo es demostrar las ventajas de utilizar el modelo de inversión sobre el modelo secuencial para la interpretación de registros cuando aparecen litologías complejas.

Para ello se presenta la fundamentación del modelo de inversión y se exponen ejemplos demostrativos de la comparación entre los dos modelos de interpretación de registros geofísicos de pozo para diferentes casos en los yacimientos cubanos.

Los primeros pasos para la aplicación del modelo de inversión se dieron en los primeros años de la década del 90 con programas propios como el Litopor3 (Castro, 2017). Pero no es hasta después del 2009, luego de la adquisición del *software* apropiado que se empezó a explorar y explotar la posibilidad de la evaluación por análisis mineralógico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los métodos están en función de los registros de pozo disponibles, pero se necesita un mínimo de registros que incluyan:

- Resistividad
- Rayos Gamma Espectrales

- Porosidad por distintos principios físicos

Además, se requiere la descripción de muestras y núcleos para fundamentar el modelo de trabajo.

Para describir la metodología, hay que partir de que hay que resolver un sistema de ecuaciones donde los registros constituyen las ecuaciones, y las componentes son las incógnitas, por lo que se establece una relación entre ellos (Doveton, 1986; Crain, 2010; Viro, 2011).

Como ejemplo se presenta el sistema de ecuaciones para una litología de composición variable, con tres registros: neutrón- ϕ_n , densidad- δ_v y sísmico- Δt , y tres componentes o volúmenes: dolomita- D , calcita- C y arena cuarcífera- A :

El sistema en forma de matrices:

$$\phi_{dol} + C \times \phi_{cal} + A \times \phi_{are} = \phi_n \quad (1)$$

$$\delta_{dol} + C \times \delta_{cal} + A \times \delta_{are} = \phi_v \quad (2)$$

$$\Delta t_{dol} + C \times \Delta t_{cal} + A \times \Delta t_{are} = \Delta t \quad (3)$$

$$+D + C + A = 1 \quad (4)$$

$$\begin{matrix} \phi \\ D \\ A \\ C \end{matrix} \begin{bmatrix} 1.00 & 5.00 & 0.00 & -5.00 \\ 1.00 & 2.87 & 2.71 & 2.65 \\ 189.00 & 43.50 & 47.50 & 55.10 \\ 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 \end{bmatrix} = \begin{matrix} \phi_n \\ \delta_v \\ \Delta t \\ 1 \end{matrix} \quad (5)$$

Expresados en símbolos: $RV = t$, donde:

R: Parámetros del modelo.

V: Modelo.

t: Observaciones: respuesta del campo físico.

Por lo que, para obtener los parámetros del modelo a partir de la respuesta de los campos físicos, se efectúa la operación inversa:

$$v = \begin{matrix} \phi \\ D \\ A \\ C \end{matrix} \begin{bmatrix} 1.00 & 5.00 & 0.00 & -5.00 \\ 1.00 & 2.87 & 2.71 & 2.65 \\ 189.00 & 43.50 & 47.50 & 55.10 \\ 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 \end{bmatrix} \begin{matrix} \phi_n \\ \delta_v \\ \Delta t \\ 1 \end{matrix} = R^{-1} (t)$$

donde: R-1 es la matriz inversa de los coeficientes seleccionados de acuerdo con el modelo escogido.

Hay que contar con un software apropiado para realizar todos los cálculos interactivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se ejemplifica la utilización del método en algunos pozos con determinada litología que era necesario precisar para la evaluación de sus propiedades de reservorio, luego de realizar la interpretación secuencial. El resultado se valora teniendo en cuenta la información inicial, la información complementaria y el modelo obtenido. El sistema de componentes y registros se seleccionó en base al conocimiento geológico a priori o visualizando los gráficos de propiedades cruzadas de las zonas. Los valores de los parámetros petrofísicos son tan confiables cuanto más lo sea la reconstrucción de los registros y el error.

Caso 1. Bacuranao 100.

En este pozo hubo que definir la presencia de serpentinitas en el corte, ya que existía la posibilidad de que se confundieran con tobas en las descripciones litológicas. En el gráfico de propiedades cruzadas de la **Figura 1** (Densidad vs Porosidad Neutrónica) se ubica muy bien este tipo de rocas. Por la interpretación secuencial (**Figura 2**, izquierda) no se evalúan cuantitativamente las rocas de este tipo. En efecto, con el modelo de inversión (**Figura 2**, derecha) quedan establecidos los intervalos donde están presentes y sus propiedades.

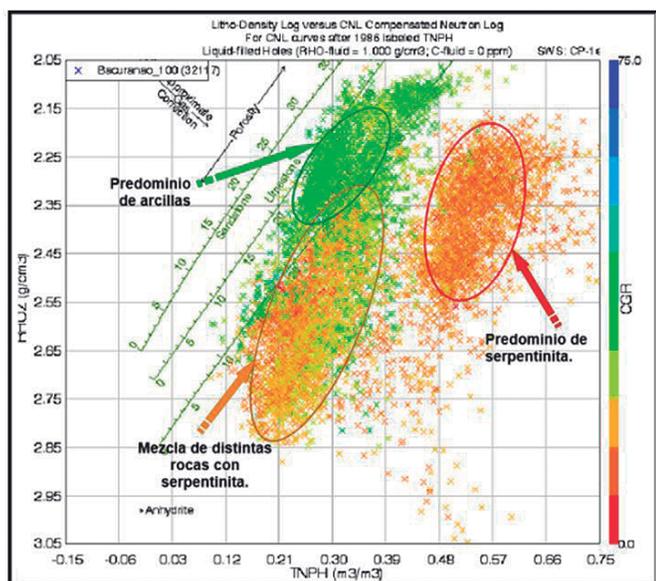


Figura 1. Presencia de serpentinitas en el corte, caracterizadas por su alta porosidad neutrónica.

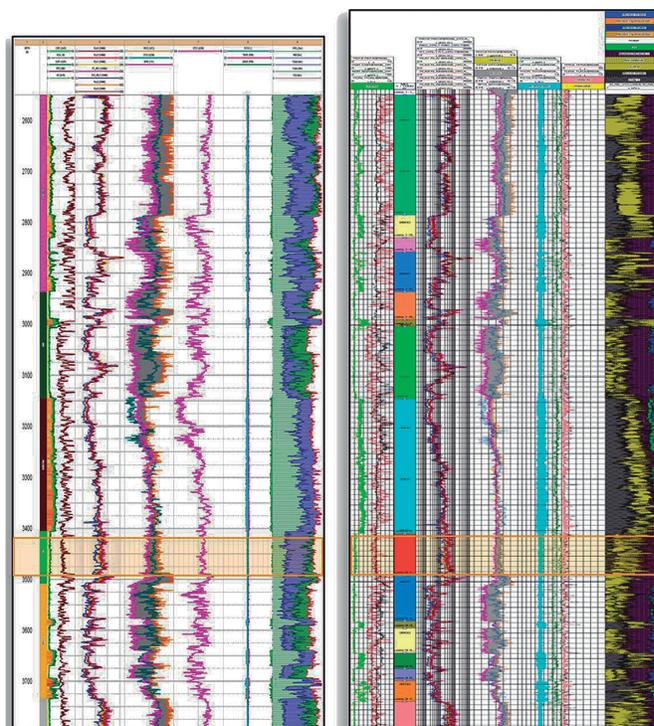


Figura 2. Resultado de la interpretación secuencial a la izquierda y por inversión a la derecha.

Caso 2. Litoral 100.

Fue necesario definir si se trataba de arcosas masivas posiblemente de la Formación Bacunayagua o laminares, que están presentes en la Formación Vega Alta. Para esto se utilizó un pozo donde la sección descrita de arenisca arcósica estaba bien definida en la interpretación por el modelo de inversión, muy diferente del pozo de estudio, se obtuvo el modelo final de interpretación, tomando en cuenta el feldespato de potasio, con un error mínimo (**Figuras 3 y 4**). Finalmente, se obtuvo un modelo litológico y no se aprecia masividad en las arcosas (**Figuras 5 y 6**). Este tipo de análisis no es posible con la interpretación secuencial, ya que no se representan las arcosas.

Caso 3. Pina 401.

En sus formaciones están representadas las tobas. En la **Figura 7** se presenta una distribución de los minerales y arcilla obtenidos por difracción de Rayos X en muestras de rocas de este pozo.

Por su composición litológica compleja no es posible representar en el modelo secuencial (**Figura 8** izquierda), se necesitan los minerales componentes (**Figura 7**) para obtener un resultado confiable de sus propiedades de reservorio, lo que se logra con el modelo de inversión (**Figura 8** derecha).

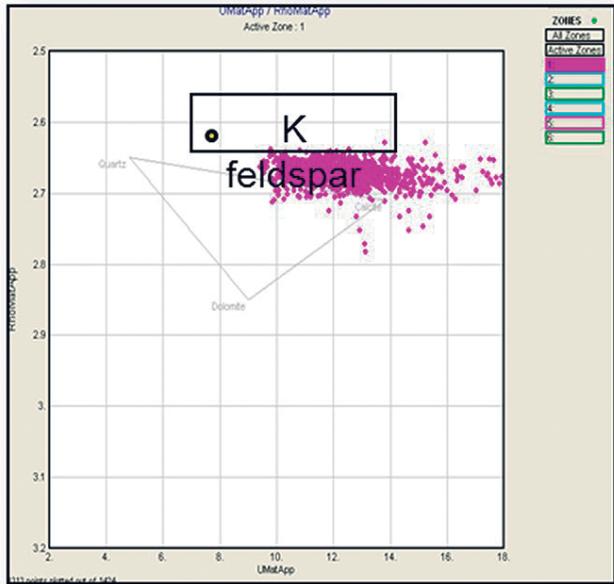


Figura 3. Nube de puntos correspondiente a las areniscas arcósicas, muy bien definida y cercana al punto del feldespato potásico.

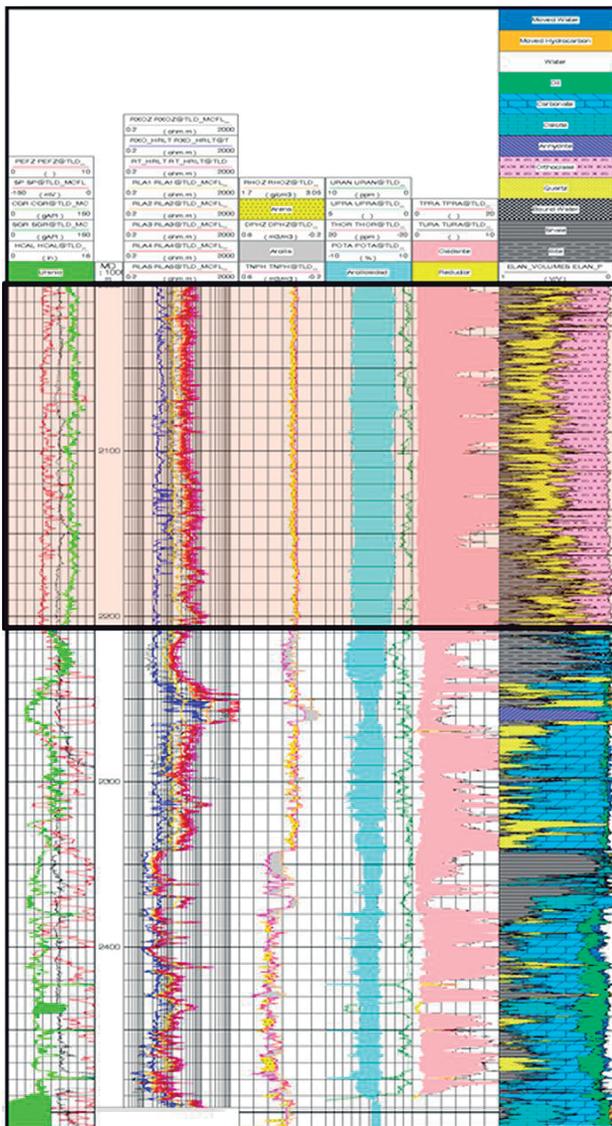
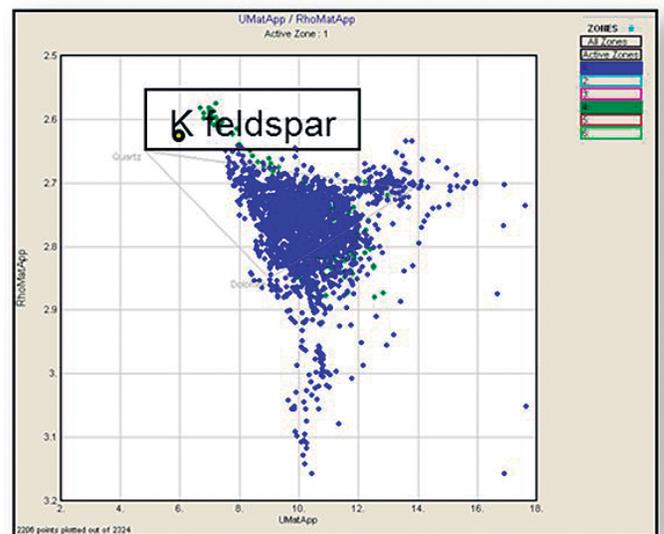


Figura 4. Pozo donde la sección descrita de arenisca arcósica se aprecia bien definida en el pozo interpretado por análisis elemental.

Figura 5. Intervalos con descripción de areniscas arcósicas: Nube de puntos dispersa debido a la heterogeneidad litológica.



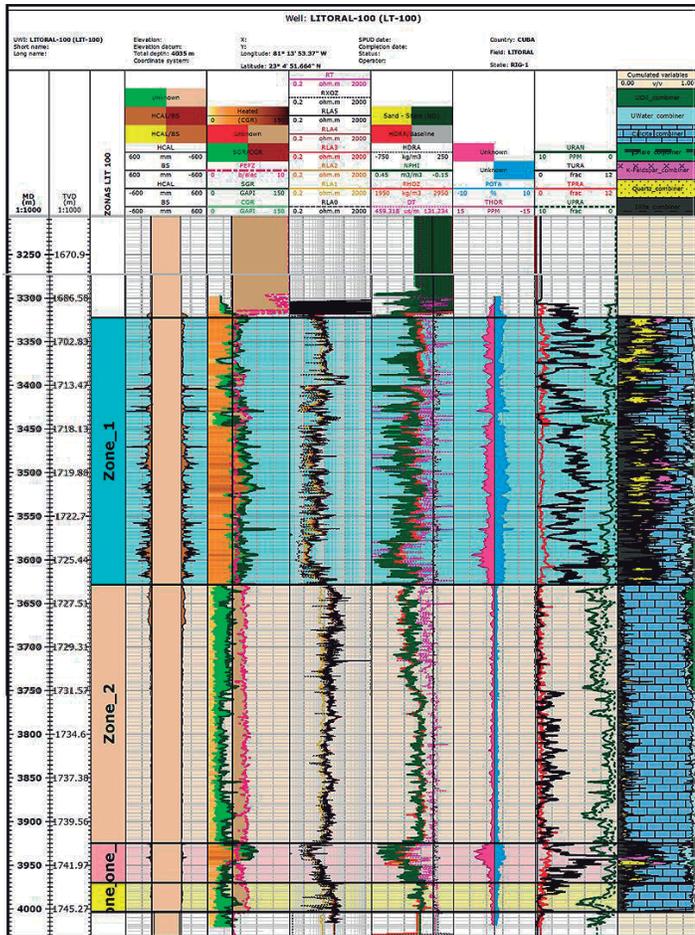
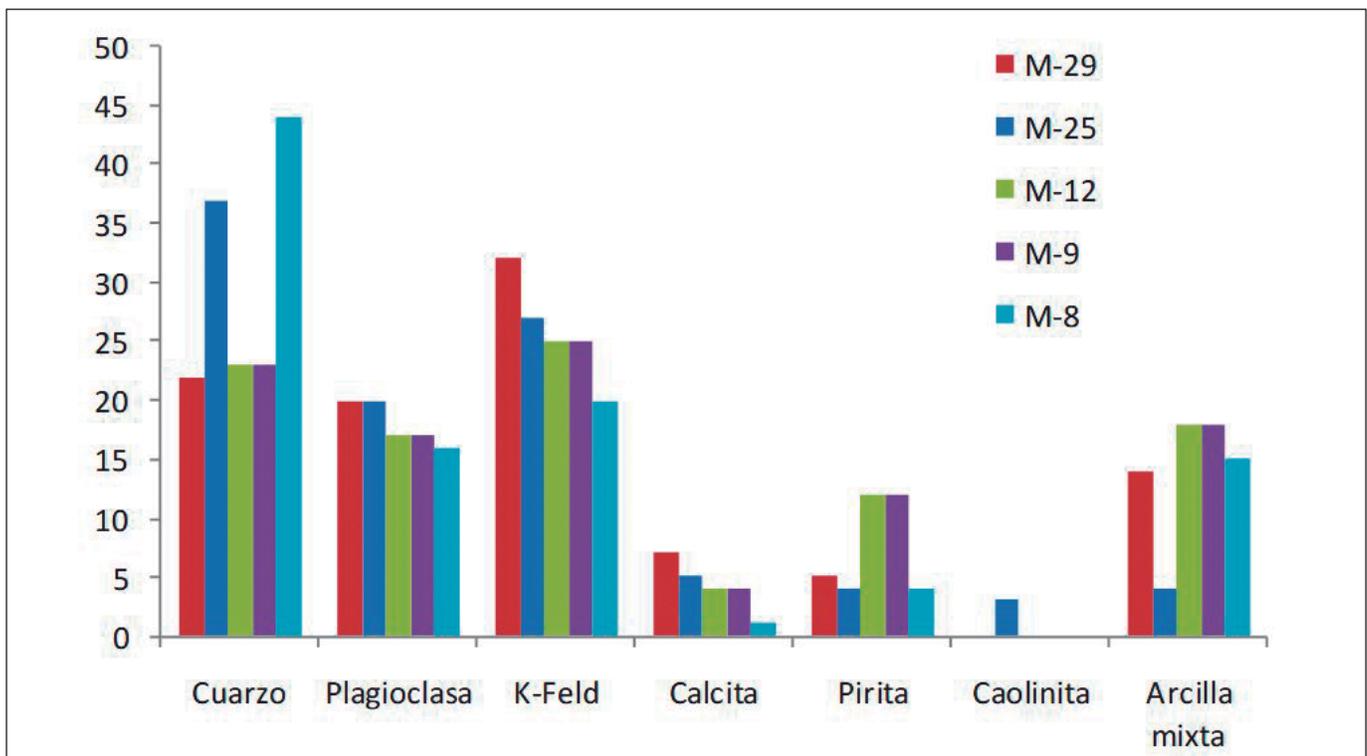


Figura 6. Modelo final de interpretación, tomando en cuenta el feldespato de potasio, con un error mínimo.

Figura 7. Distribución de componentes en tobas por difracción de Rayos X.



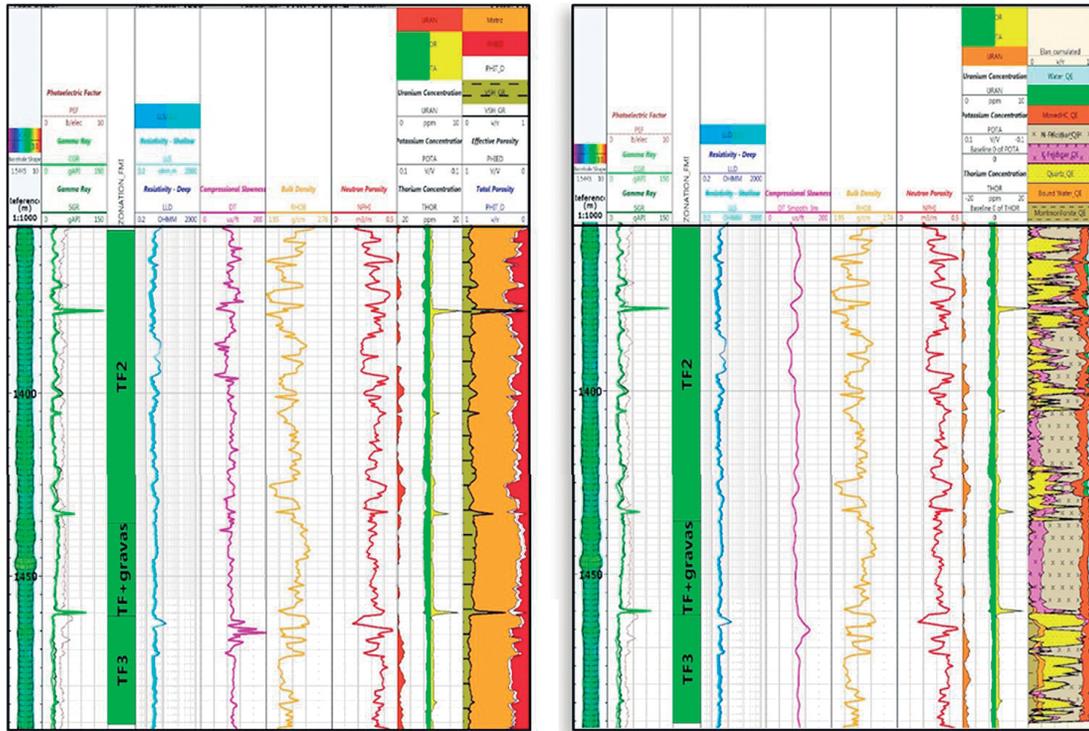


Figura 8. Interpretación clásica con una matriz aparente (izquierda) e interpretación por el modelo de inversión utilizando los minerales que componen a las tobas (derecha).

Caso 4. Bacuranao Largo 300.

Se encontró una distribución litológica muy variable, con predominio de caliza en algunas partes y margas en otras. Por el modelo secuencial no se pudo precisar la

presencia de estas rocas, mientras que por el modelo de inversión se logró representar un modelo que respondía a las descripciones de las muestras de canal (Figura 9).

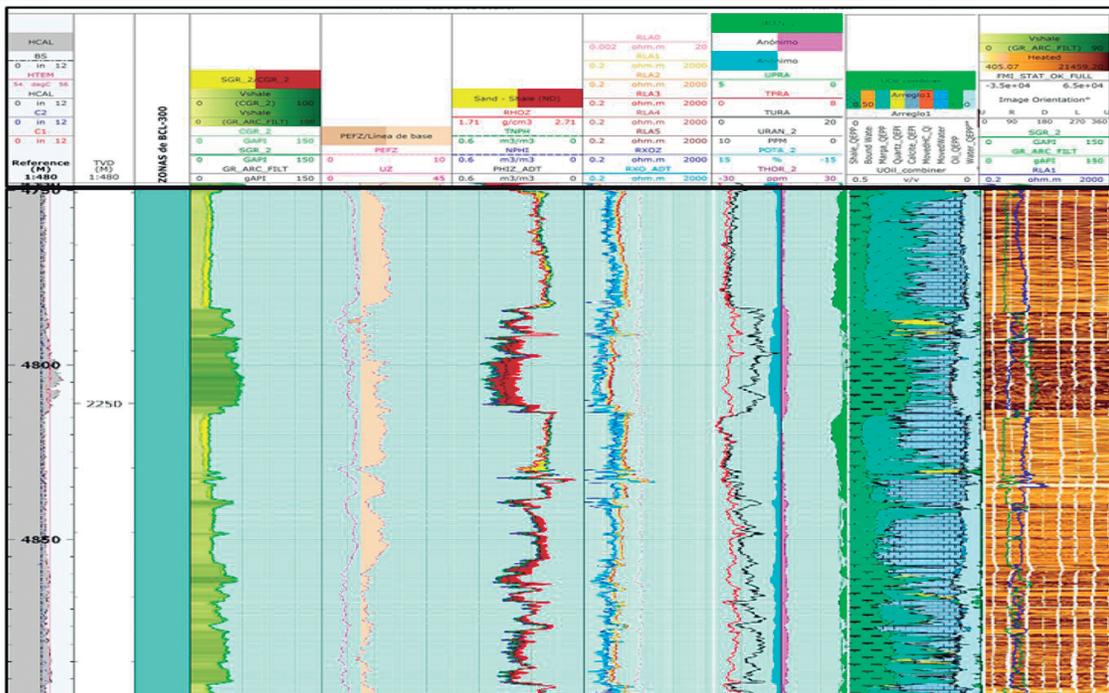


Figura 9. Variación de la litología de acuerdo con las descripciones de muestras.

CONCLUSIONES

En los ejemplos analizados, que son una muestra del trabajo realizado en muchos pozos de los yacimientos cubanos, al comparar los resultados de los distintos modelos para la interpretación de registros para litologías complejas, se demuestran las ventajas de utilizar el modelo de inversión sobre el modelo secuencial. Al utilizarse las litologías verdaderamente representativas de las formaciones, se calculan los volúmenes de cada una, y a partir de estos, se obtiene el espacio ocupado por la porosidad y los fluidos dentro de esta con mejor exactitud. El cálculo de errores y la reconstrucción de registros garantizan la calidad de la interpretación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfonso Roche, J. R.**, 1989, Estadísticas en las Ciencias Geológicas, Editora ISPJAE, CUJAE.
- Castro Castiñeira, O.**, 2017, Evaluación Petrofísica de Formaciones Gasopetrolíferas Cubanas, Centro Nacional de Información Geológica, La Habana, 224 pp.
- Doveton, J. H.**, 1986, Log analysis of subsurface geology. Concepts and computer methods. A Wiley-Interscience Publication.
- Barson, D., R. Christensen, E. Decoster, R. Chistensen y J. Grau**, 2005, Espectroscopía: La clave para la obtención de respuestas petrofísicas rápidas y confiables. Oilfield Review, Otoño, p. 16-35.
- Crain's Petrophysical Handbook**, 2000, Lythology/Mineralogy from Probabilistic Models. <https://www.spec2000.net/13-lithprob2.htm> 25 de julio de 2010.
- Viro**, 2014, Manual de Instrucción, Curso: Interpretación de registros a agujero descubierto, Consultoría, LTDA, <http://es.scribd.com/jchilon640/d/52724331-manual-de-interpretacion-de-registros> 22 de octubre de 2014.

