

APORTES DEL USO DE NUEVOS PERFILES DE POZOS EN LA DISCRIMINACIÓN DE LA SECUENCIA OFIOLITICAS EN SECTOR MORRO SANTA MARIA

Mariela Torres Díaz, Olga Castro Castiñeira, Bárbaro Villavicencio, Silvia Valladares y Dania Brey del Rey

Centro de Investigaciones del Petróleo Churrucá, No.481, e/ Vía Blanca y Washington, municipio del Cerro, provincia La Habana. ZIP 12000. mariela@ceinpet.cupet.cu

RESUMEN

Las rocas que se denominan Ofiolitas (*ofio* - verde azul y *lithos* - roca) están expuestas desde Pinar del Río hasta Cuba Oriental, encontrándose en superficie grandes cuerpos de serpentinitas generalmente deformadas y alteradas, aunque en algunas zonas también se encuentran gabros, diabasas y peridotitas. En 1985 se realizó un estudio de serpentinitas cubanas, clasificándolas en cuatro litotipos (Valladares, S.).

En los pozos profundos que han sido perforados en el sector Morro - Santa María también fueron observables estas serpentinitas mezcladas con otras rocas tanto volcánicas como carbonatadas, y son las que constituyen el material de estudio de esta investigación.

Los perfiles de pozo introducidos en la década del 90 aportan información más precisa y cuantitativa acerca del comportamiento de las rocas y constituyen la base para la adecuada interpretación de las propiedades de la roca como reservorio. Considerando la importancia que tienen las ofiolitas para el desarrollo de yacimientos en esta secuencia, en este estudio se recomienda su análisis con los métodos actuales de registros, que permitan una mejor discriminación e interpretación de las propiedades petrofísicas de las rocas.

Durante el desarrollo del trabajo se caracterizaron las electrofacies, se construyeron gráficos de propiedades cruzadas, con el auxilio de núcleo y las descripciones de muestras de canal y se estableció que la porosidad debe ser evaluada por el método de densidad. Toda esta información se comparó con los resultados anteriores, lográndose una identificación más detallada.

ABSTRACT

The rocks called Ophiolites (*ofio* – greenish- blue and *litho*- rock) are exposed from Pinar del Río to Eastern Cuba, being found huge serpentinites bodies generally deformed and altered, although there are gabros, diabasas and peridotites in some zones. In 1985 a studied of the Cuban serpentinites was made, classifying them in four lithotypes (Valladares, S.).

The well profiles introduced in the 90's give more accurate and quantitative information concerning the rock behavior and they constitute the base for the adequate interpretation of the rock's properties as reservoir. Taking into account the ofiolites importance for the development of the deposits in this sequence, it is recommended in this study an analysis with the current methods of registers that permits a better interpretation and discrimination of the rock's petrophysic activity.

During the development of the work the electrofacies was characterized, graphics of crossed properties were built, with the nucleus help and the descriptions of channel samples and he/she settled down that the porosity should be evaluated by the method of density. All this information was compared with the previous results, getting a more detailed identification.

INTRODUCCION

En una porción importante del territorio cubano se desarrolla un cinturón alargado de Noreste a Sureste donde se encuentran rocas de origen del manto superior (serpentinitas, dunitas), en la corteza oceánica (gabros, basaltos), y en los fondos marinos (radiolaritas y otras rocas

sedimentarias). Estas rocas que se denominan Ofiolitas (*ofio* - verde azul y *lithos* - roca) están expuestas desde Pinar del Río hasta Cuba Oriental, y a manera de inclusiones en el área de desarrollo de las ofiolitas, se encuentra una masa de serpentinitas muy deformadas. (Iturralde-Vinent et al, 2009).

Aunque los afloramientos pueden ser representativos de las formaciones que se encuentran en la profundidad, los registros constituyen una evidencia indirecta pero continua que facilita el estudio de las rocas que conforman los yacimientos de petróleo. En los pozos profundos que han sido perforados en el sector Morro - Santa María también fueron observables estas serpentinitas mezcladas con otras rocas tanto volcánicas como carbonatadas, y son las que constituyen el material de estudio de esta investigación.

Con el rápido desarrollo de las ciencias geológicas y la ingeniería de yacimientos, unido al avance de la computación, se necesita encontrar y desarrollar una metodología que permita identificar las rocas serpentiniticas mediante la interpretación integral de los registros de pozos introducidos en la década del 90, puesto que estos registros aportan información más precisa y cuantitativa acerca del comportamiento de las rocas. De esta forma los resultados estarán más acordes a la era de los registros de imágenes eléctricas y los modelos computacionales tridimensionales de los yacimientos.

En el trabajo se caracterizaron las electrofacies y se construyeron gráficos cruzados entre diferentes propiedades. Toda esta información se comparó con los resultados obtenidos en todos los pozos de la Franja Norte de Crudos Pesados (1985), donde aparecieron las ofiolitas, lográndose una identificación más segura. En la Figura 1 se observa una gráfica de los registros de pozos horizontales donde se diferencian electrofacies serpentiniticas. Obsérvese los valores muy bajos de radioactividad mientras que la porosidad neutrónica tiene valores muy altos, aspectos a tener en cuenta a la hora de evaluar las serpentinitas.

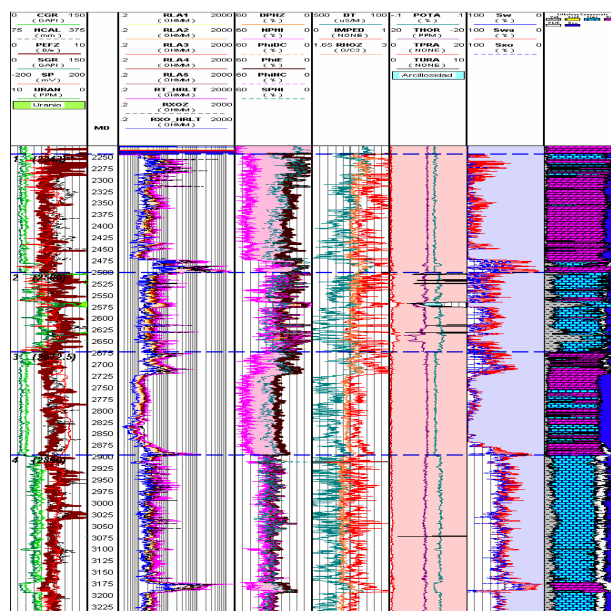


Figura 1.- Gráfica de los registros de pozos horizontales donde se diferencian electrofacies serpentiniticas. Obsérvese los valores muy bajos de radioactividad mientras que la porosidad neutrónica tiene valores muy altos

Antecedentes

La mayoría de los registros que se tienen en los pozos verticales son muy limitados, (Ver Figura 2) lo cual imposibilita hacer una buena evaluación de la porosidad. En el estudio más actual de las serpentinitas cubanas (Valladares S., 1985), se determinó la porosidad de la roca usando el registro de intensidad neutrón gamma que como se conoce es un método indirecto y conlleva a un alto grado de incertidumbre en el cálculo de éste parámetro, aún así se pudieron separar cuatro litotipos, los cuales se diferencian por sus propiedades físicas y colectoras.

No obstante, la autora sugiere la sustitución de algunos métodos y la introducción de otros fundamentalmente de porosidad en busca de resultados más satisfactorios.

Clasificación de Litotipos:

Litotipo 1- Serpentin brechadas, fracturadas: colector del tipo fracturado.

Litotipo 2- Cataclasitas de serpentinas, gabros diabasa o peridotitas o serpentinas cataclastizadas: colector del tipo poroso o poroso fracturado.

Litotipo 3- Serpentin alteradas: no colector.

Litotipo 4- Gabros, diabasas, peridotitas. Colectores fracturados o cavernoso fracturados.

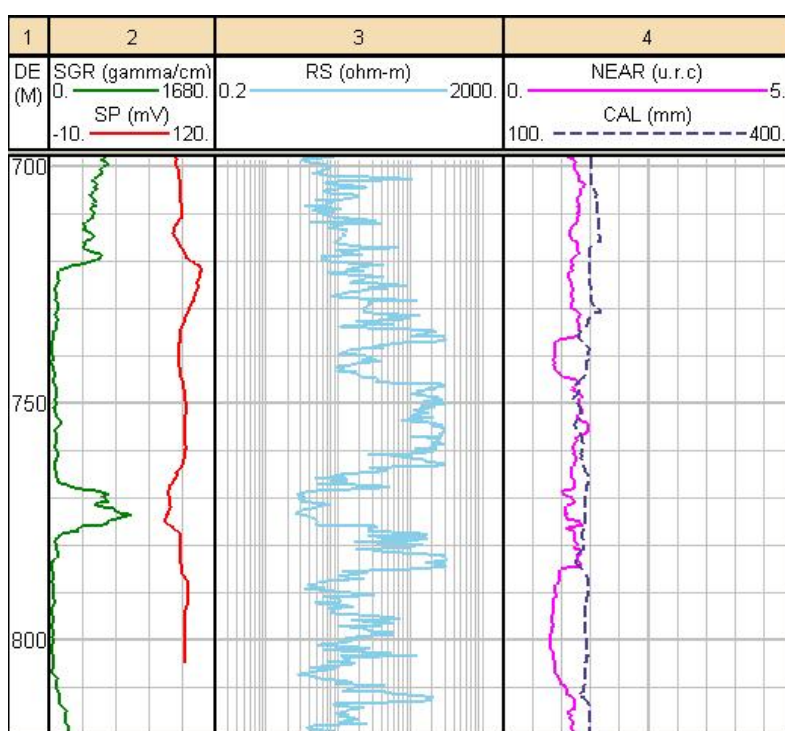


Figura 2.- Ejemplo de registros en un pozo vertical donde aparecen las serpentinitas

En los años 90 solamente se obtuvieron mediciones de neutrón-neutrón, pero las lecturas que se expresan en los registros responden a conteos en unos casos y a unidades radiactivas convencionales en otros (Castro, O., 1996). Memoria Geofísica '96.

Partiendo del estudio anterior y apoyado en la clasificación de los diferentes litotipos, en este artículo se presenta una complementación a la metodología para la discriminación y caracterización de las serpentinitas.

Objetivos

1. Caracterizar las rocas serpentínicas por medio de métodos y metodologías modernas de interpretación.
2. Establecer correlaciones con los pozos del sector.
3. Determinar parámetros característicos de la serpentinitas.
4. Realizar una buena discriminación de los cuerpos serpentínicos para apoyar la base estructural del área.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para esta investigación se escogieron algunos pozos perforados en el sector Morro-Santa María, con registros geofísicos con suficiente calidad, se organizaron y prepararon los materiales de trabajo por las distintas áreas y se hizo uso de las herramientas que brindan los tres software de interpretación que existen en el Centro.

Preparación de los materiales de trabajo

1. Registros geofísicos de pozos convencionales.
2. Registros de imágenes FMI.
3. Resultados de la interpretación de registros.
4. Descripciones litológicas.
5. Análisis petrofísicos de núcleos.
6. Estudio bibliográfico y consultas a especialistas de mayor experiencia.

Métodos Utilizados

Los métodos empleados son muy variados:

Con la introducción del método de neutrón compensado en escala de porosidad es muy sencillo determinar la porosidad efectiva de las formaciones. Aunque en las formaciones ofiolíticas no es confiable.

Con el método de Litodensidad (LDT) se obtiene la medición del efecto fotoeléctrico (PEF) y de la densidad real de la roca, éstos brindan información sobre la composición litológica, la porosidad y la matriz de la roca

El perfil sísmico (DT) es incluido en el cálculo de porosidad. Las lecturas de sus mediciones se pueden obtener por separado en las ondas de cizallamiento (S) y ondas compresionales (P).

Con relación a los métodos de resistividad se puede decir que es un complejo de sondas de corriente enfocada dirigidas a diferentes radios de investigación.

Los métodos radiactivos de gamma natural en su variante espectral (NGS) obtiene por separado las mediciones de Torio, Potasio y Uranio. Las dos primeras caracterizan a las arcilla, pudiéndose obtener el contenido de ellas, mientras que por la relación Torio/Potasio puede conocerse su tipo

(esmectita, caolinita, ilita). El uranio da información sobre la presencia de materia orgánica, este es representado por la diferencia entre el gamma espectral y el integral.

La introducción del registro de Imágenes eléctricas de Cobertura Total (FMI), ha representado un avance fundamental. Con este se obtienen datos de imágenes de alta resolución que facilitan el estudio de las características de los yacimientos, a través del análisis de estas imágenes se puede extraer y manejar una serie de información de los eventos geológicos que atraviesa el pozo.

En la tabla # I se presenta, para una mejor comparación, el complejo de registros geofísicos utilizado en pozos verticales y el complejo de registros geofísicos que en la actualidad se utiliza en pozos horizontales o dirigidos.

Tabla I.- Complejos de registros en pozos verticales y pozos dirigidos.

1985			2010		
Curvas	Descripción	U/M	Curvas	Descripción	U/M
GN	Gamma Natural	Conteos gammas	GR	Rayos Gamma Totales	GAPI
			POTA.	Potasio	%
			SGR.	Rayos Gamma Espectrales	GAPI
			THOR	Thorium	PPM
			URAN	Uranium	PPM
			CGR	Rayos Gamma computados	GAPI
ING	Intensidad de Neutrón Gamma	URC	NPHI	Porosidad Neutrón	V/V
SP	Potencial Espontáneo	MV	SP	Potencial Espontáneo	MV
CAL	Cáliper	MM	HCAL	Cáliper	MM
MLL	Micro Resistividad	OHMM	LLD	Resistividad Profunda	
LL	Resistividad	OHMM	LLS	Resistividad Somera	
MP o G	Resistividad	OHMM	MSFL	Resistividad muy somera	
SEL			RLA0	Resistividad	OHMM
A 0.55 M	Resistividad	OHMM	RLA1	Resistividad	OHMM
A 1.05 M	Resistividad	OHMM	RLA2	Resistividad	OHMM
A 2.25 M	Resistividad	OHMM	RLA3	Resistividad	OHMM
A 4.25 M	Resistividad	OHMM	RLA4	Resistividad	OHMM
A 8.50 M	Resistividad	OHMM	RLA5	Resistividad	OHMM
N 6.05 A	Resistividad	OHMM	RXOZ	MCFL Standard Resolution Invaded Zone	OHMM
			RXO_HRLT	Resistividad Zona Invadida	OHMM
			RT_HRLT	Resistividad Total	OHMM
			RHOZ	Density de la Formación	K/M ³
			DPHZ	Porosidad de la Densidad	V/V
			PEFZ.	Factor Fotoeléctrico de la Formación	
			DSI:	Sónico bipolar	
			DTCO	Sónico compresional	Ms-m
			DTSM	Sónico cizallamiento	Ms-m
			DTST	Sónico stoneley	Ms-m

1985			2010		
Curvas	Descripción	U/M	Curvas	Descripción	U/M
			FMI	Imágenes eléctricas de Cobertura Total	

RESULTADOS

El primer trabajo que se hizo fue el reconocimiento de las electrofacies. Esto se hizo en base al comportamiento del complejo de registros con suficiente calidad con que se cuenta en cada pozo, lográndose buena clasificación litológica del corte.

En todos los pozos del sector Morro-Santa María se encuentran los denominados melange serpentiniticos donde predominan las serpentinitas fracturadas, colector de tipo poroso o poroso fracturado, y por último se encuentran facies conglomeráticas, que son arrastradas al moverse las serpentinitas, y por tanto se encuentran mezcladas con rocas sedimentarias.

Para la determinación de los valores medios de registros que caracterizan a las ofiolitas se utilizó el complejo de registros a escala 1:1000 y 1:200. Existieron problemas por el uso de lodo con base de potasio que afecta la lectura de los registros radiactivos.

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla II no pudiéndose comparar con los valores de registros obtenidos en 1985 ya que, estos fueron útiles para la selección de objetivos a ensayar en pozos verticales, no así para la diferenciación litológica del corte que es el objetivo de este artículo.

Tabla II.- Valores característicos de las electrofacies en la secuencia ofiolítica por registros.

HORIZONTE SERPENTINÍTICO					
2010					
Registros	CGR (API)	SGR (API)	NPHI (V/V)	RHOZ (G/M³)	PEF (V/V)
Promedio	18.02	16.26	0.38	3.16	4.55
Máximo	28.32	27.55	0.48	3.94	5.54
Mínimo	9.15	9.48	0.27	1.59	2.09

DISCUSIÓN

Se hizo un estudio detallado de los diferentes gráficos cruzados o crossplot litológicos para definir la composición mineralógica de las formaciones atravesadas y se pudo comprobar que la roca serpentinita se diferencia fácilmente, pues éstas se separan de otras litologías. En el ejemplo de la Figura 3 se muestra un gráfico cruzado de porosidad neutrónica vs porosidad por densidad y gamma computado sobre el eje Z, donde se observa que los puntos con predominio de rocas serpentiniticas se agrupan fuera de los rangos permisibles para la litología convencional. En análisis interactivo con los registros se puede diferenciar la posición real de cada litología en profundidad.

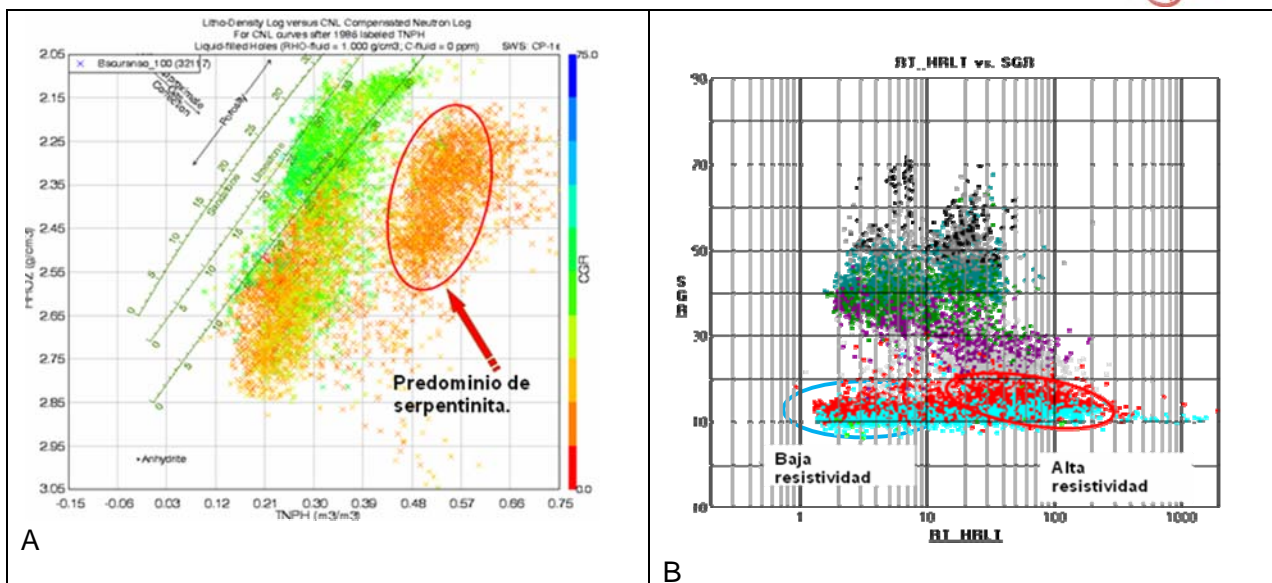


Figura 3.- Gráficos cruzado: En la sección A porosidad neutrónica, densidad y gamma computado, donde se observa la agrupación de puntos con predominio de rocas serpentiniticas. En la sección B, resistividad total vs gamma total mostrando serpentinitas de baja y alta resistividad.

La Resistividad dentro de las ofiolitas es variable. Las serpentinitas del tipo fracturado se asocian al reservorio y se aprecian con mayor resistividad (>50 ohm) y densidad. Otro grupo de las serpentinitas se muestran como una roca sellante de baja resistividad, en ellas se destacan aquellas secuencias que desarrollan una severa serpentinización y las secuencias vinculadas con horizontes no fracturados dentro del complejo ofiolítico, donde predominan los valores menores de densidad, mientras el Factor Fotoeléctrico (PEF) mostrará valores que oscilan entre 3-4 para ambos casos. En la Figura 4 se muestra un segmento de registro donde aparecen alternándose intervalos de rocas serpentiniticas de baja y alta resistividad. Nótese la gran diferencia entre las porosidades del perfil neutrónico y el de densidad.

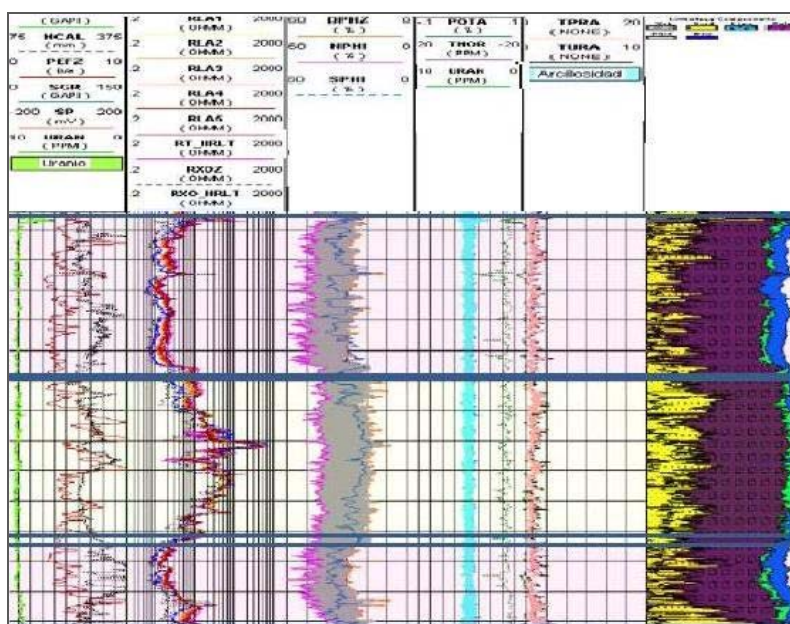


Figura 4.- Segmento de registro donde aparecen alternándose intervalos de rocas serpentínicas de baja resistividad (sombreados en magenta) con otras de alta resistividad (sombreados en amarillo).

Una manera bien marcada para la discriminación de las serpentinitas es con el registro de rayos gamma por sus valores característicos en el registro, presentando siempre lecturas mínimas de las curvas. Este método es el único registro dentro del intervalo encamisado que permite diferenciar las rocas con contenido serpentinitico.

También se hace muy efectivo representar en una misma pista el perfil de porosidad neutrónica con el de densidad, observando como muestra la Figura 4 la diferencia que existe entre las mismas, ambas curvas mantienen una diferencia de 30 a más unidades de porosidad entre sus valores, lo que ocurre únicamente en este tipo de roca. Para la evaluación de la porosidad en las rocas que contengan agua de cristalización en su composición mineralógica como es el caso de las serpentinitas, no se recomienda usar el método de neutrón compensado, puesto que éste mide todo el hidrógeno que se encuentra en el espacio poral. Para éste cálculo es recomendable usar siempre que se tenga, el perfil de densidad.

En tres pozos del área de estudio fue corrido el registro FMI el cual permitió interpretar varios sistemas de fracturas naturales evidenciando la fuerte actividad tectónica a que fueron expuestas estas rocas. En ocasiones se muestran como cuerpos masivos o compactos, mientras que otras veces se presenta simulando una conglobrecha gruesa con abundantes clastos resistivos muy similar por sus características, a la acostumbrada en rocas carbonatadas, por lo que es necesario identificar bien la litología para una buena interpretación.

En todos los casos se observan fracturas conductivas que podrían estar abiertas al movimiento o almacenamiento de fluidos, fracturas parcialmente abiertas y fracturas cementadas, ya por minerales serpentiniticos, ya sea por sílice o carbonatos (Ver ejemplo de la figura 5).

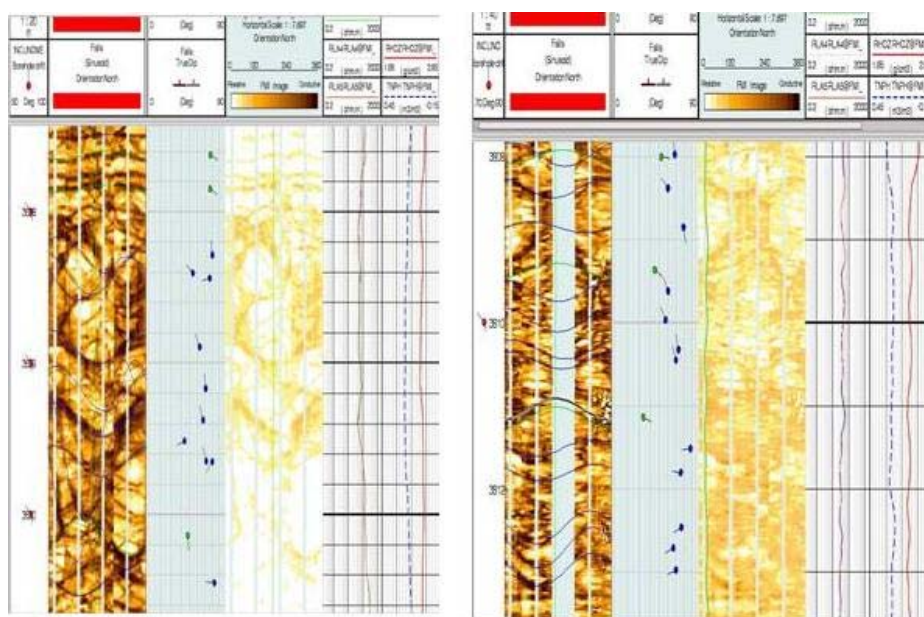


Figura 5.- Segmento de registro donde se observan los diferentes sistemas de fracturas y la textura de una roca serpentinitica.

Caracterización de las ofiolitas por datos de núcleos y por registros geofísicos de pozos.

La textura de estas rocas generalmente es granular (en sus variaciones: granular gábrica, granular panidiomórfica vinculada a las peridotitas y granular ofítica típica de las diabasas), aunque no siempre se presenta de igual manera puesto que dependen del grado de serpentización que presenten.

Los estudios de laboratorio que se han realizado hasta ahora en el Sector Morro- Santa María, indican que en los horizontes serpentiniticos la presencia de zonas muy fracturadas incrementa la porosidad en un 2%, por lo tanto, la densidad disminuye, pues tienen una relación inversa como se expresa también en los registros geofísicos de pozos. La susceptibilidad magnética es baja. Toda esta información se comparó con los resultados obtenidos en todos los pozos de la Franja Norte de Crudos Pesados (1985) y se corrobora la coincidencia de los valores en casi todos los casos, quedando para estudios posteriores analizar el contenido de carbonatos presentes en la roca y el coeficiente de intercambio catiónico, lo cual permitirá demostrar la presencia de arcillas que se observa en los registros geofísicos de pozos.

CONCLUSIONES

Dadas las características de alta porosidad y la inestabilidad de sus componentes, la serpentinita se altera fácilmente. Estas son de muy difícil interpretación y por ende, las menos estudiadas en Cuba.

Por todo lo expuesto y al no contar con suficientes cortes de núcleos laterales puede concluirse que esta discriminación tiene un carácter preliminar.

Después de haber explicado todos los métodos utilizados y la dificultad que presentan algunos, se puede concluir que:

1. Se pudieron caracterizar las rocas serpentínicas con más precisión al contar con métodos que no se tenían anteriormente, como los rayos gamma espectrales y el perfil de litodensidad.
2. Se estableció que la porosidad debe ser evaluada por el método de densidad.
3. Se evaluaron los parámetros característicos de las serpentinitas de los litotipos II y IV por métodos petrofísicos y con el complejo completo de registros con mayor precisión.
4. Con los métodos actuales y los diferentes software de interpretación se puede realizar una buena discriminación de los cuerpos serpentínicos para apoyar la base estructural del área, y se pueden establecer correlaciones con los pozos de cada sector.

RECOMENDACIONES

A partir de las consideraciones anteriormente realizadas sobre en todo el sector Morro-Santa María, se recomienda para un futuro cercano prestar atención a lo siguiente:

1. La realización de trabajos e investigaciones en la secuencia ofiolítica encaminadas a establecer, lo mejor posible, las condiciones favorables de la relación sello– reservorio para pronosticar de una manera más precisa dónde éstas pudieran ser productoras, pues en su historial han sido muy erráticas y variables en cuanto a su comportamiento productivo.
2. Pasar el registro de porosidad por densidad en zonas cercanas a la superficie, pues es la parte de mayor desarrollo de las ofiolitas. Esto permitirá hacer una mejor evaluación de la secuencia ofiolítica y mejorar el modelo estructural al tener una visión más precisa para las nuevas perforaciones
3. Realizar cortes de núcleos con el fin de obtener una óptima evaluación en la secuencia ofiolítica y continuar la caracterización de los tipos de colectores.

BIBLIOGRAFÍA

- Castro, O. 1996. Evaluación de Formaciones en la República de Cuba. Volumen de resúmenes Tercer Simposio Cubano de Geofísica' 96. 1986. Biblioteca CEINPET.
- Iturralde-Vinet, M. Silvia V. 2009. Geología de Cuba para todos. Editorial Científico-Técnico. Instituto Cubano del Libro, La Habana, Cuba.
- Segura, R. 1973. Introducción a la Petrografía. Ediciones URMO, España, Editora Instituto Cubano del Libro Ciudad Habana, Cuba.
- Valladares, S. Algunas consideraciones acerca de las propiedades colectoras y de saturación de las rocas vulcanógenas cubanas. Tesis en opción al título de Ingeniero Geofísico. Capítulo IV Biblioteca CEINPET, Ciudad Habana, 20p.
- Valladares, S, 1985. Metodología para la evaluación de los colectores y sus propiedades de las rocas pertenecientes al complejo Alóctono Eugeosinclinal. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Técnicas. Capítulo II Biblioteca CEINPET, Ciudad Habana. 9 y 18p.