

CARACTERIZACIÓN DE ARCILLAS USANDO REGISTROS ELÉCTRICOS EN SELVA SUR-PERU

Héctor Jeremy Palomino Calle, Petrobras Perú, hectorpalomino@petrobras.com; Jaime Javier Villaseca Chiroque, Petrobras Perú, jaime.villaseca@petrobras.com; Nguyen Marcelo, Petrobras Perú, nguyen.marcelo@petrobras.com; Edson Jefferson Castillo, Petrobras Perú, Edson.castillo@petrobras.com

Sinopsis

En los pozos exploratorios perforados en la Selva Sur del Perú se encuentran formaciones arcillosas en los primeros tres kilómetros de longitud en sus zonas superiores las cuales pertenecen al Terciario. Es en estas formaciones donde se ha detectado la presencia de esmectita. La esmectita particularmente es de entre todas las clases de arcilla la que absorbe mayor cantidad de agua proveniente del fluido de perforación. Este efecto microscópico se refleja a nivel macro en fenómenos físicos tal como el hinchamiento de la roca en grandes longitudes de pozo perforado y traducidos económicamente en los proyectos como “problemas de pozo” o “tiempos no productivos”.

Se observaron torques y arrastres excesivos durante los viajes así como en la bajada de tubería de revestimiento, atribuidos al hinchamiento de la esmectita, estos se solucionaron con “repasos de hueco”. Sin embargo estos repasos los cuales se hicieron “ex – post” (o sea luego de ocurrido los arrastres y torques) y con metodología de campo originaron muchas veces riesgos residuales tales como cavernas en zonas innecesarias.

A fin de reducir los riesgos residuales y anticipar las zonas de ocurrencia de esmectitas se usaron los registros de rayos gamma espectral procesados a fin de caracterizar los diferentes tipos de arcilla a lo largo del pozo dando de esta forma un registro continuo y por ende la ubicación de las esmectitas ahora ya con bases técnicas que ayuden al método de campo a planear las diferentes maniobras de limpieza y calibración del pozo. Los registros procesados posteriormente fueron validados con análisis de Difracción de Rayos X de muestras de recortes provenientes de la perforación tomados a diferentes profundidades.

Se ha encontrado que en las profundidades mayores a 1000 m se presenta un contraste entre la resistividad profunda y somera (*) justamente frente a esmectitas.

Introducción

Las lutitas comprenden el 75% del pozo perforado y es la causa del más del 90% de los problemas de inestabilidad del pozo, que van desde la formación de cavernas hasta el completo colapso del hueco, embolamiento de la broca o derrumbes. Originado elevados costos al remediar estos problemas.

La inestabilidad de las arcillas está estrechamente relacionada con las propiedades del material de las arcillas como el strength y deformación, que están en función del ambiente deposicional, porosidad, contenido de agua, contenido de arcillas, composición, compactación histórica, etc.

Caracterizar arcillas en esta sección es de suma importancia debido al comportamiento que presentan en su interacción con los fluidos, encontramos varios tipos de arcillas que afectan en diferentes casos las paredes del pozo por ser reactivas e inestables.

Las arcillas son de varios tipos, el tipo de arcilla Esmectitas (Montmorillonitas) a diferencia de las demás arcillas (Illitas, Kaolinitas, Cloritas, etc.) son las que más afectan durante la perforación debido al hinchamiento que sufren al entrar en contacto con el agua de fluido de perforación (Figura 1).

Estas arcillas afectan mucho el comportamiento geomecánico de las paredes del pozo, las Esmectitas ante la presencia de un fluido puede aumentar su tamaño hasta 3 veces por ser muy expansiva.

En los recortes de Perforación se identifica que las arcillas poseen una textura suave, comportamiento plástico, son pegajosas además de ser muy solubles.



Figura 1 - Interacción de las Esmectitas con el agua

Este trabajo fue desarrollado para los pozos exploratorios del Lote 58 en la Selva Peruana, al sur este del Perú, donde se obtienen Gas y condensados y se perforan los pozos usando fluido de perforación base agua. Se realizó el trabajo en base a 3 pozos exploratorios (Urubamba 1X-Pozo1, Picha 2X-Pozo 2 y Taini 3X-Pozo 3) y se está aplicando en un cuarto Pozo (Paratori 4X-Pozo 4), teniendo resultados a mediados de Junio 2012. Ver figura 2.

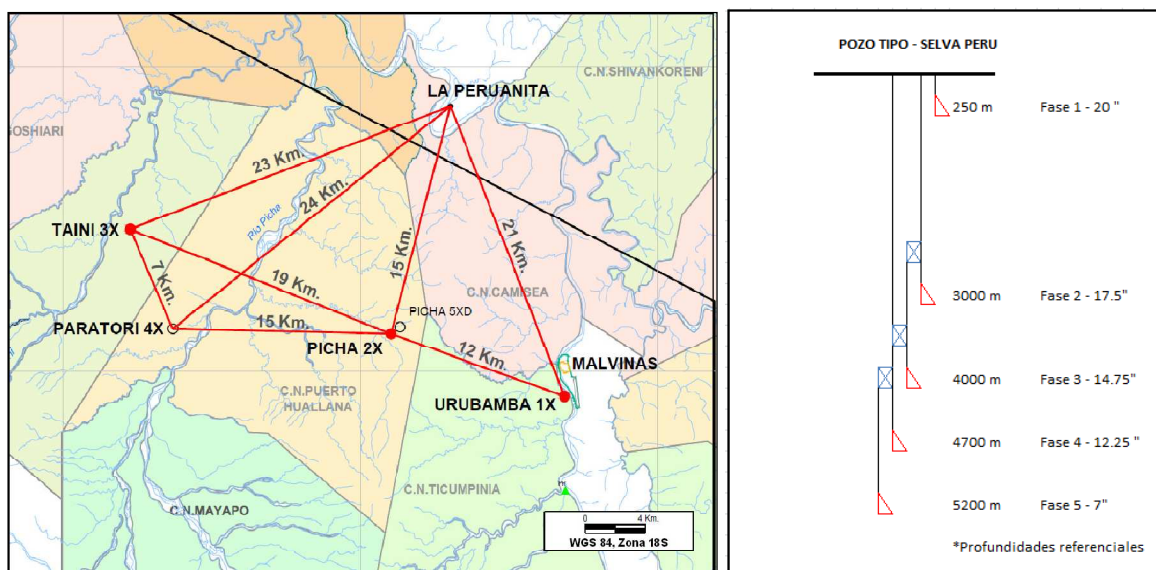


Figura 2- Distancias entre Pozos - Esquema Tipo de Pozo perforado en Lote 58.

Metodología

La técnica en resumen consiste en : Se trabajó 2 pozos exploratorios que se encuentran en una misma estructura geológica (Pozo 2 y Pozo 3) que el Pozo 4, estando el Pozo 4 en medio de los 2, se procedió a caracterizar las arcillas usando la data de los Rayos Gama Espectral a hueco abierto y se corroboró los datos con los ensayos de difracción de rayos X (DRX), con esto se realizó dos secciones estructurales incluyendo registros eléctricos y como el cuarto pozo a perforar se encuentra entre estos dos pozos trabajados, se realizó una correlación de la cual dio como resultado una prognosis más detallada para la perforación del siguiente pozo indicando profundidades a las cuales hay que tomar en cuenta para evitar problemas de hoyo durante el acondicionamiento y bajada de la tubería de revestimiento.

Con esto que logramos, eliminar el mito que donde encontremos arcilla, repasar todos el tramo, sabiendo que tipo de arcilla estoy atravesando se deberá repasar sólo las que me originan hueco apretado o en calibre y evitar repasar frente a las arcillas que me generarían mayor cavernas complicando la bajada de la tubería de revestimiento, limpieza del hoyo y la cementación efectiva.

Logrando así mayor efectividad al acondicionar el hoyo en puntos donde realmente amerita repasar, esto involucra menos tiempo y evitar realizar acondicionamientos adicionales por problemas al bajar la tubería de revestimiento.

Cabe indicar que para ser efectivo este trabajo se deben tomar Registros de Rayos Gamma en las zonas de interés, estos se toman a hueco abierto y luego se debe corroborar la información de estos registros con la Difracción de Rayos X.

Tiempos no Productivos

En el Pozo 3 – con 72 horas de tiempo no productivo, para acondicionar hoyo después de que el liner de 11-3/4” no baje por asentamiento. Cuando los pozos a perforar son profundos mayor de 5000 m, el disminuir los efectos causados por las inestabilidad del hoyo y el conocer mejor que tipo de arcilla, ayuda en demasía para una mejor planificación, porque a estás profundidades ya los tiempos no productivos son considerables.

Desarrollo

En el transcurso y al final de los trabajos de perforación del Pozo 1, Pozo 2 y Pozo 3, se encontró que en ciertos intervalos (especialmente las secciones superiores) existen serios problemas con la condición del hoyo.

Se definieron 2 fases principales donde ocurren la mayor incidencia de inestabilidad del hueco, la primera fase que llega hasta los 3000 m aproximadamente y la segunda fase que llega hasta los 4000 m.

El trabajo realizado se centró en estas 2 fases, buscando solucionar los problemas referidos a la inestabilidad de las arcillas en estos intervalos.

En respuesta a este problema el grupo de trabajo, en un esfuerzo conjunto determinamos realizar el procesamiento e interpretación de los registros de rayos gamma espectral (HNGS) basados en la distribución de las concentraciones de Torio y Potasio del chart CP-19 desarrollado por Cía. Servicio, también se usó el Chart 5.42. (Ver Figura 3), de tal forma que permitieran identificar los tipos de minerales de arcilla presentes a lo largo de las secciones estudiadas, adicionalmente a este chart se realizaron las pruebas de difracción de rayos X (XRD) a los recortes del Pozo 2 y Pozo 3, los cuales fueron usados en el análisis presentado en este trabajo para poder calibrar y definir mejor la interpretación realizada con el chart CP-19.

Luego de realizar este análisis y su respectiva calibración con información de pozo, se plasmo toda la información en un registro de tal manera que permita identificar si existe alguna relación entre los diversos tipos de arcilla identificados y el calibre del pozo.

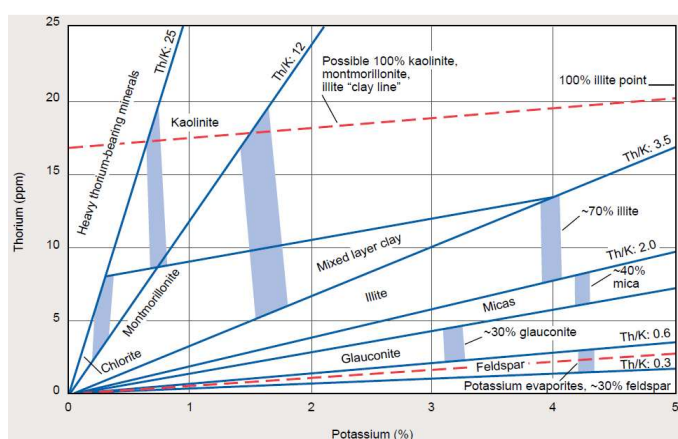
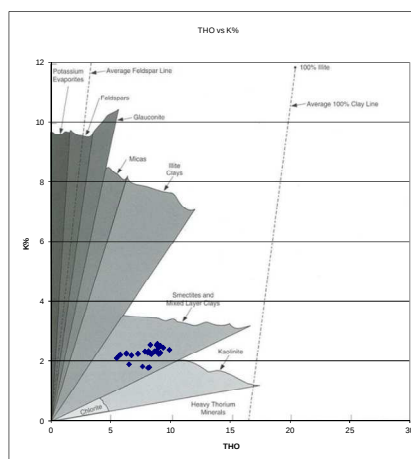


Figura 3 – Cartas de Relación Torio/Potasio



Procesamiento e Interpretación del Perfil de Rayos Gamma Espectral

Esté perfil fue adquirido en todas las secciones del pozo con la herramienta HNGS (Rayos Gamma Espectral) que a diferencia del Perfil de Rayos gamma convencional esta herramienta permite cuantificar las concentraciones de los principales elementos radiactivos (Potasio, Thorio y Uranio), Información que ayuda a identificar el tipo de arcillas presentes en las lutitas y en las rocas reservorio y todas las aplicaciones operativas que se pueden hacer con este conocimiento.

Para esto se usan cross Plot de los contenidos y ratios de los elementos radioactivos.

En los gráficos de abajo se muestra diagramas binarios que ayudan a definir tipos de arcillas presentes en los reservorios.

La sección 3 de 14.75” es donde se perfora la Formación Yahuarango y zona faunal de Carofitas, en esta zona se tiene problemas en el cual el diámetro de hueco del pozo en zonas de arcillas se encontraban debajo del calibre en varios intervalos, por lo cual se utilizó el gamma ray espectral para realizar diagramas Binarios con las respuestas obtenidas de los elementos radiactivos, concentración de Potasio (K %) vs. Thorio (Th ppm), que define arcillas mixtas del tipo Esmectita – Illita. Inicialmente Esmectitas originadas en un ambiente continental (Eodiagénesis) y que por profundidad van recrystalizando a Illitas (Mesodiagénesis). Ver figura 4.

La principal característica que conservan es la expansibilidad de la esmectita a la presencia de agua extraña y la obstrucción de las gargantas porales por las Illitas afectando la estabilidad y permeabilidad de La Formación Yahuarungo (Fase 3).

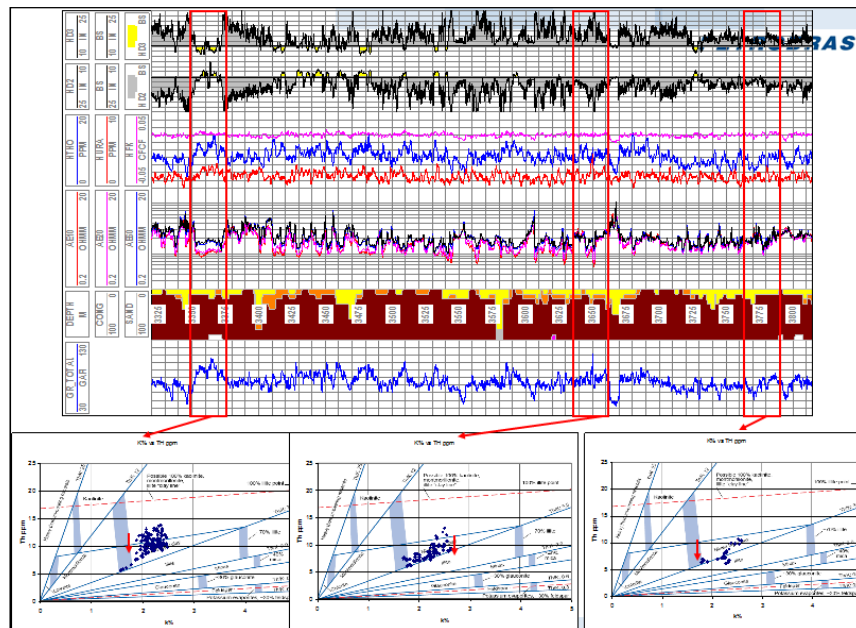


Figura 4- Illita. Inicialmente Esmectitas originadas en un ambiente continental (Eodiagénesis) y que por profundidad van recrystalizando a Illitas (Mesodiagénesis)

El procesamiento de la caracterización de arcillas fue computado para las secciones 17.5in, 14.75in y 12.25in cubriendo los intervalos 264 m – 2705 m, 2728 m – 3875 m y 3880 – 4400 m respectivamente (Fase 2 y Fase 3)

La carta CP-19 muestra como todos los puntos caen dentro de la zona de esmectita e illita. Ver Figura 5.

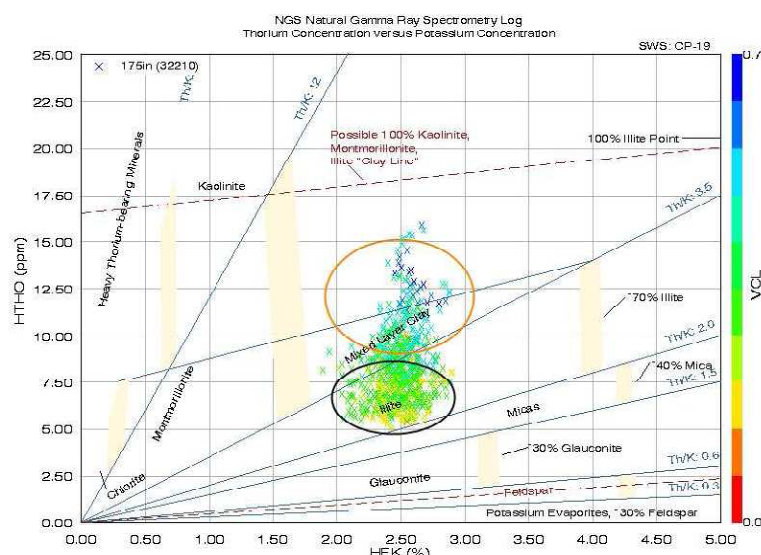


Figura 5- dispersión de Torio – Potasio relacionada al contenido de arcilla, sección 17.5in.

En el caso de la sección 14.75in, la relación Torio – Potasio está mostrando un tipo de clay relacionado principalmente al volumen de arcilla. Ver Figura 6.

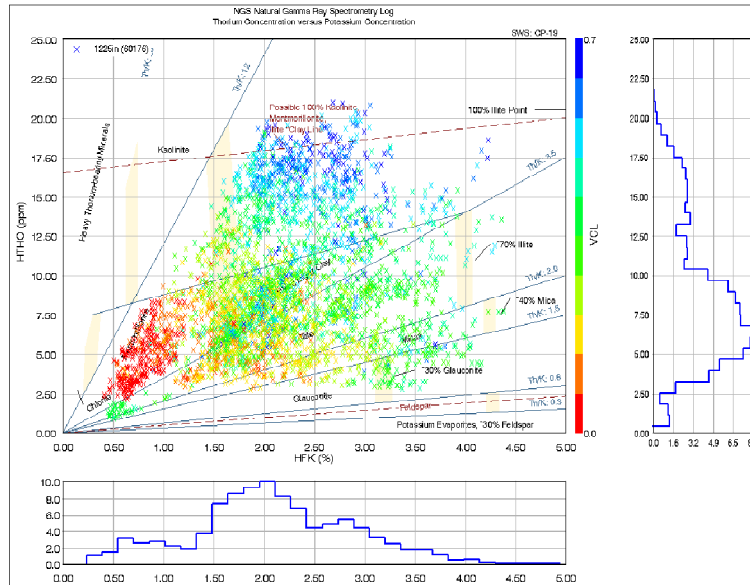


Figura 6 Carta de SLB CP-19 para la sección 12.25in.

La **Figura 6** muestra la dispersión de Torio vs. Potasio en la carta CP-19, como es posible de ver en esta figura, existe una gran variedad de tipos de clay caracterizados por un determinado contenido de arcilla. Feldespatos-Micas, Illita, Esmeclita y Kaolinita pueden ser observados en este Plot.

La siguiente **Figura 7** muestra en un registro la caracterización de arcillas usado:

Track 1: HSGR (GR Total), HCGR (GR sin Uranio), BS, HDAR (Caliper) y SP.

Track 2: Profundidad (MD) y Tensión.

Track 3: Medidas de resistividad de la herramienta AIT (AHT).

Track 4: Bit size (BS), caliper PPC1 (HD1 & HD2).

Track 5: HTHO contenido de torio y HTPR. Relación Torio-Potasio.

Track 6: HURA contenido de Uranio, HFK. Contenido de Potasio.

Track 7: volumen de clay (VCL), tipos de clay y topes de formación.

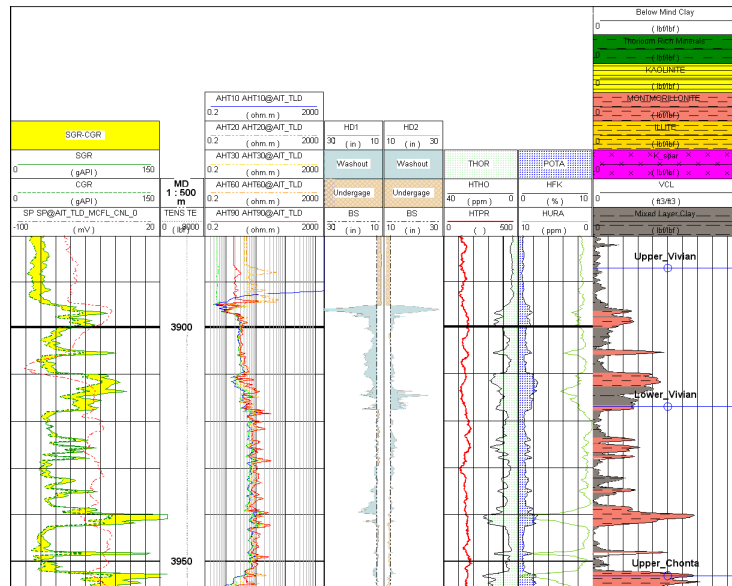


Figura 7 - Presentación del registro Gamma Ray Espectral incluyendo la caracterización de arcillas.

Estos datos después son corroborados y ajustados con las pruebas de difracción de Rayos X, realizada a las distintas muestras de recortes de los intervalos de profundidad de interés.

Calibración con DRX

Se desarrollaron varias pruebas de XRD a las muestras de recortes en el Pozo 2 y 3 y los resultados fueron usados para obtener una mejor comprensión del tipo de arcilla.

Los resultados están mostrados en la siguiente **Figura 8**:

Sample Depth	Smectite	Illite	Calcite	Quartz	Biotite	Feldspars	Kaolinite	Chlorite	CEC meq/100 gr
20	10%	8%	1%	72%	-	7%	2%	-	9
120	1%	5%	1%	54%	-	33%	3%	3%	1
220	13%	5%	-	85%	-	16%	1%	-	10
320	10%	5%	-	68%	-	9%	2%	-	13
420	8%	7%	-	88%	-	14%	3%	-	6
520	4%	5%	1%	85%	-	23%	2%	-	3
620	10%	10%	-	53%	-	15%	3%	4%	12
720	10%	8%	2%	54%	-	19%	3%	4%	8
820	11%	8%	-	87%	-	11%	2%	-	9
900	8%	6%	1%	67%	-	15%	1%	2%	6
1020	10%	9%	1%	47%	-	20%	3%	4%	13
1120	16%	10%	2%	49%	-	17%	3%	3%	11
1220	16%	11%	4%	47%	-	15%	3%	4%	13
1320	15%	7%	5%	46%	2%	20%	2%	3%	12
1420	10%	6%	4%	53%	1%	13%	2%	1%	14
1520	10%	10%	6%	46%	2%	15%	3%	-	14
1620	14%	8%	6%	55%	1%	17%	1%	-	11
1720	14%	5%	11%	51%	2%	16%	1%	-	11
1820	14%	5%	6%	54%	1%	19%	1%	-	11
1920	10%	6%	8%	53%	-	16%	2%	-	12
2020	14%	7%	11%	56%	2%	8%	2%	-	11
2120	15%	5%	15%	50%	-	11%	1%	-	12
2220	15%	6%	7%	53%	1%	16%	2%	-	12
2320	13%	4%	3%	62%	-	17%	1%	-	10
2420	18%	5%	4%	58%	-	16%	1%	-	14
2520	11%	6%	7%	62%	-	13%	1%	-	9
2620	11%	7%	4%	62%	-	15%	1%	-	9
2720	9%	3%	3%	87%	4%	14%	-	-	7
2820	6%	10%	-	87%	2%	12%	3%	-	5
2920	9%	6%	2%	71%	1%	9%	2%	-	7
3020	8%	8%	1%	62%	1%	12%	3%	-	7
3120	11%	9%	1%	64%	3%	9%	3%	-	9
3220	13%	8%	3%	66%	2%	11%	2%	-	10
3320	16%	8%	3%	54%	2%	15%	2%	-	13
3420	10%	12%	7%	51%	-	11%	3%	-	13
3520	19%	14%	4%	58%	-	8%	2%	-	15
3620	15%	8%	4%	57%	5%	9%	2%	-	12
3720	18%	-	12%	42%	8%	21%	-	-	14
3820	16%	-	21%	49%	5%	-	-	-	14

Figura 8 pruebas de XRD a los recortes del Pozo 3.

Los resultados de XRD representan cada 100m del pozo mostrando un porcentaje (en volumen) de cada tipo de arcilla: Esmeclita, Illita, Kaolinita y Clorita.

Estos resultados fueron usados en el procesamiento de Caracterización de Arcillas para ayudar en la caracterización de los tipos de clay mostrados por la carta CP-19, esta caracterización fue realizada moviendo las relaciones de Th/K a un determinado valor para representar el porcentaje de clay que se muestra en la **Figura 9**.

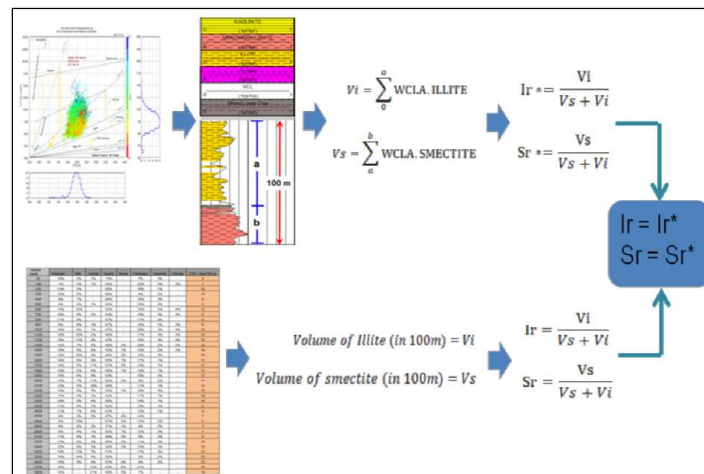


Figure 9 - Metodología usada para realizar la calibración de Caracterización de Arcillas.

El flujo de trabajo mostrado en la **figura 9** representa la metodología usada en el procesamiento para hacer posible la calibración usando los resultados de DRX por cada 100 metros de muestra.

La idea principal es seleccionar en el Plot de caracterización de arcillas los 100 metros en donde la muestra de DRX fue tomada, luego hacer una relación entre esmeclita e illita (I^*r & S^*r) asumiendo que el porcentaje en volumen de Kaolinita y clorita son despreciables, comparar estas relaciones con la concentración vista en los resultados de XRD, finalmente si existe una similitud entre HNGS y XRD como se muestra en el cuadrado en azul mostrado en la **figura 9** indicaría que las facies obtenidas en la caracterización de arcillas son representativas, en caso contrario es necesario analizar la relación Th/K a través de un método de iteración hasta obtener la similitud mencionada.

Después de aplicar la metodología mencionada anteriormente, los resultados para las secciones 3 y 4 (donde hay muestras de DRX) están presentes en las siguientes **figuras 10 y 11**:

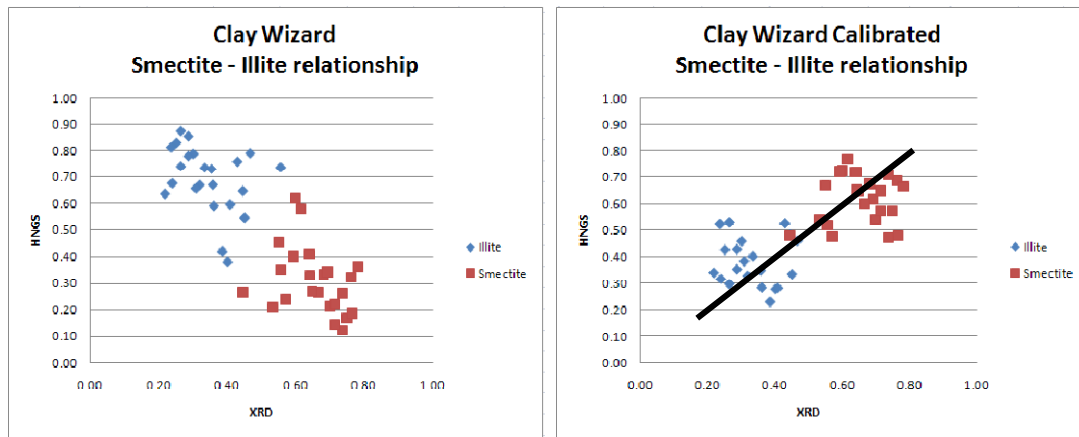


Figure 10 - Calibración para la sección 2 de 17.5in.

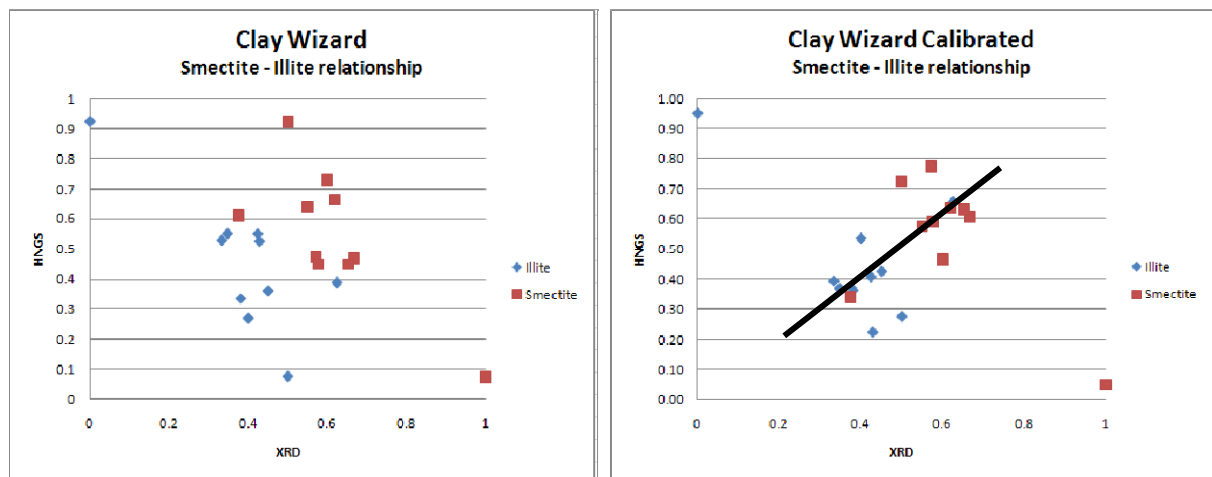


Figure 11 - Calibración para la sección 3 de 14.75in.

Los resultados de la calibración de la caracterización de arcillas basados en las muestras de XRD son mostradas en las **figuras 10 y 11** en donde una comparación de las concentraciones de esmectita e illita para cada 100 metros de muestras de XRD (eje X) vs. HNGS (eje Y) es presentado con puntos rojos y azules respectivamente, la dispersión de estos puntos rojos y azules deberán representar una función identidad con un mínimo de error como se muestra en las graficas del lado derecho.

Resultados

Lo que nos permitió esta interpretación es tener un registro e identificar los tipos de arcillas, los cuales fueron asociados al Caliper del hueco y los problemas ocurridos en estas áreas. **Ver figura 12-** ejemplo de resultado de una fase.

Fase 4 -12.25in

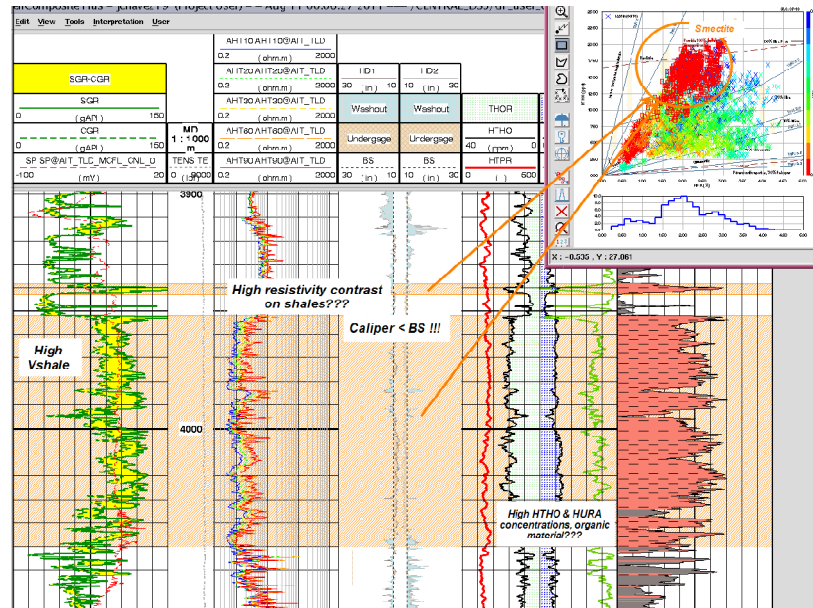


Figura 12 - Plot de caracterización de arcillas para un intervalo de la formación chonta en la sección 4-12.25in.

El análisis de caracterización de arcillas realizado en la sección 4 de 12.25in ayudó a identificar a la esmectita presente como el tipo de clay predominante a lo largo de las formaciones presentes en esa profundidad.

Este tipo de clay predominante en esta sección también presenta las mismas características relacionadas a Caliper, resistividad y concentraciones de torio y uranio que las secciones anteriores.

Resultado final:

Como se mencionó anteriormente, se realizó una correlación litoestratigráfica del Pozo 2 y pozo 3 (ver **Figura 13**), dando como resultado una prognosis más detallada para la perforación del Pozo 4, indicando profundidades a las cuales hay que tomar en cuenta para evitar problemas de hoyo durante el acondicionamiento y bajada de la tubería de revestimiento. Ver **Figura 14**.

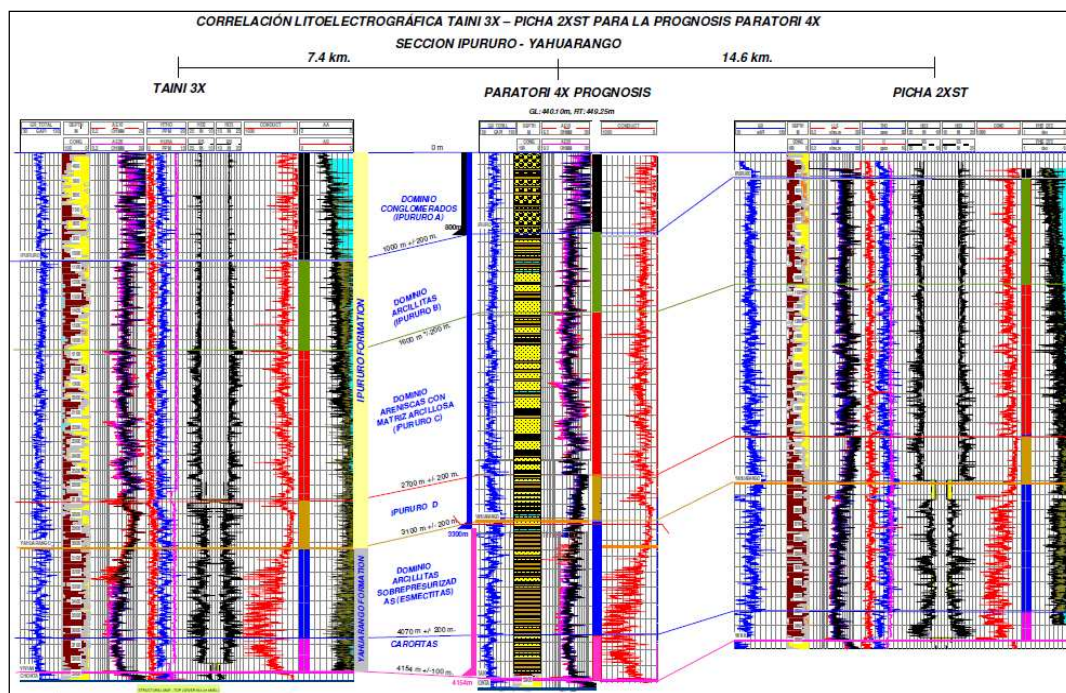


Figura 13 - correlación litoestratigráfica del Pozo 2 y Pozo 3 para Prognosis del Pozo 4.

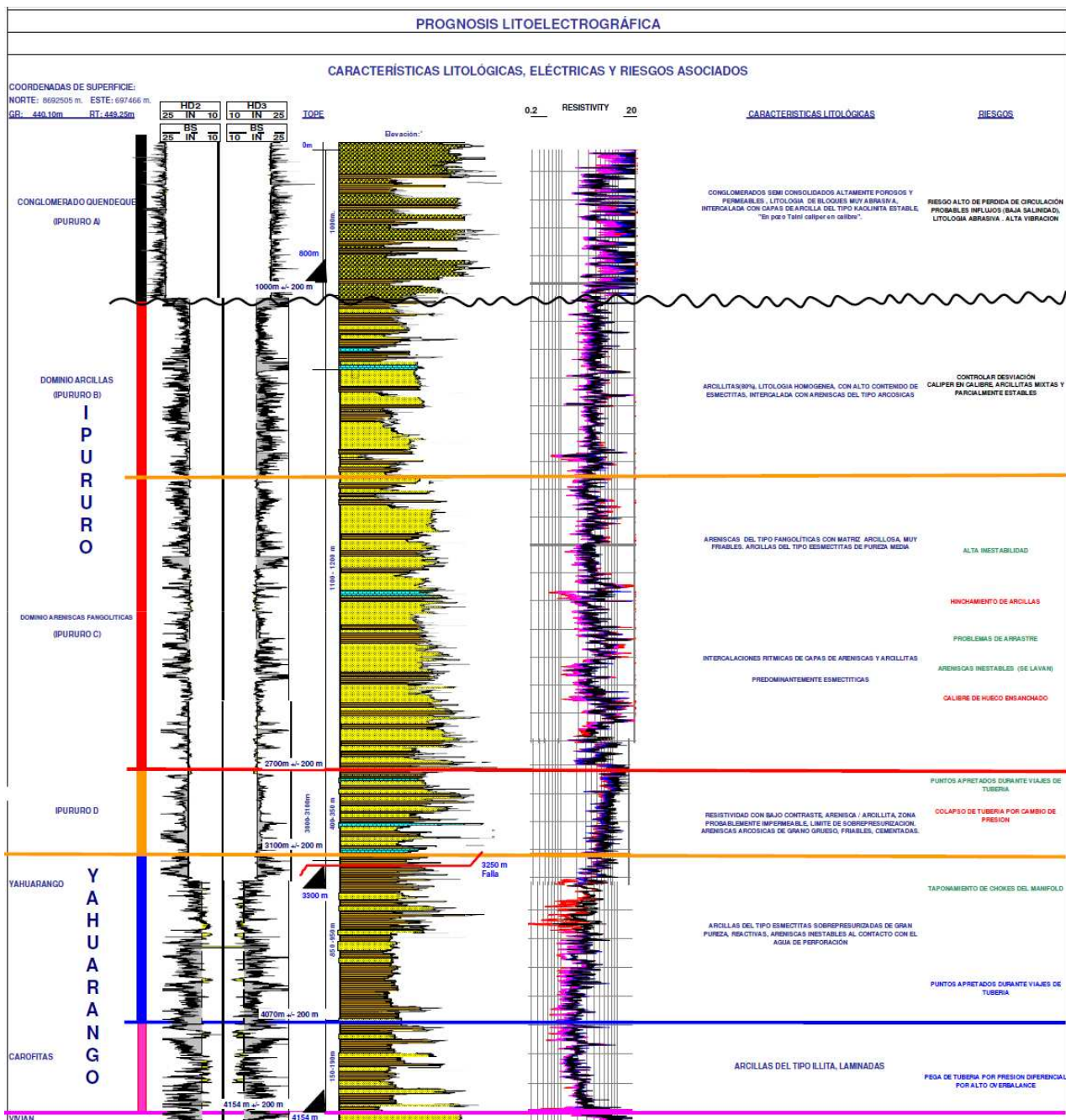


Figura 14- Prognosis Pozo 4- Resultado Final.

Conclusiones

- Se obtuvo una prognosis litoelectrográfica para el Pozo 4, detallando: Tipo de arcilla y profundidad a la que se encontrarán y como actúan estas arcillas frente a lodos base agua, tipo de problema que implica perforar estas arcillas y los más importantes como resolver este tipo de problemas.
- Se llegó a determinar que encima de los 1050 m existen intercalaciones de cuerpos con alto volumen de arcilla el cual tienen a la esmectita como tipo de clay predominante el cual presenta una medida de Caliper cercana a la de la broca (en calibre) y en bajos volúmenes de arcilla el tipo de clay predominante es la Illita.
- Desde 1050 m hasta el fondo de la sección 12.25" existe una serie de características constantes observadas:
La esmectita se presenta en frente de altos volúmenes de arcilla.
Un contraste de resistividades se presenta en frente de esmectitas.
El Caliper de bajo calibre en donde el tipo de clay presente es la esmectita.

- Utilizando el registro de GR Espectral, identificamos los tipos de arcilla plotando los valores de Potasio (%) y Thorio (ppm) en el chart CP19 y comparando los resultados con el Chart 5.42.
- Para la fase 3 de - 14.75" x 12.25" (Unidad Yahuarango) se realizaron crossplots que permitieron conocer dos tipos de arcillas; en la sección superior y media (3040-3480m) encontramos Esmectitas (Montmorillonitas), mientras que en la sección inferior Illitas (3480 -3895m), donde a medida que se va profundizando, el análisis espectral va de esmectitas a Illita. Las Esmectitas están originadas por un bajo grado de soterramiento (Eogénesis) y que por profundidad (mayor compactación Química-Mecánica) van recrystalizando a Illitas (Mesodiagénesis).
- Una característica distintiva de la Esmectita es que se expande al interactuar con el agua (presente en el fluido de perforación), mientras que la Illita ocasiona la obstrucción de las gargantas porales afectando la estabilidad y permeabilidad de la formación Yahuarango.
- Este trabajo muestra que una de las causas de los bajos ratios de penetración durante la perforación se debió a la plasticidad de la Esmectita al interactuar con el agua, incremento de temperatura y presión. Los arrastres excesivos observados en los viajes de acondicionamiento, además de los problemas ocurridos durante la bajada del Liner 11.75" se debieron al hinchamiento de las arcillas (Esmectitas) ya que estuvieron expuestas por un largo periodo de tiempo al fluido de perforación. Generando "tiempos no productivos".
- Con el fin de reducir riesgos, se sugiere identificar con detalle las arcillas reactivas (Esmectitas-Illita) realizando correlación entre los Pozos 3 y 2 utilizando para esto el perfil de Gamma Ray Espectral (HNGS). Conociéndose la correlación e identificado los niveles arcillosos en mención se sugiere extender esta correlación en tiempo real de los perfiles GR - Resistividad con el Pozo 4-Paratori 4X.

Bibliografía

- o Practical Well Planning and Drilling Manual, Steve Devereux
- o Chart CP19 Schlumberger
- o Chart 5.42 Baker Hughes
- o Difracción de Rayos X – muestras de recortes Pozo 2 y Pozo 3.
- o Registros Rayos Gamma Espectral de Pozo 2 y Pozo 3.
- o Ingeniería de Pozos Petrobras Perú- Lote 58.
- o Ingeniería de Exploración Petrobras Perú- Lote 58.