

## **YACIMIENTO CASHIRIARI: DESAFIOS EN LA CONFIRMACION DE RESERVAS DURANTE EL DESAROLLO DEL CAMPO**

Johnny Gabulle, Johnny Vilca, Juan Chung, Federico Seminario<sup>(1)</sup>, José Luquez<sup>(2)</sup>

(1) Pluspetrol Perú Corporation S.A.

(2) Pluspetrol Argentina

### **RESUMEN**

El campo Cashiriari contaba con 3 pozos abandonados, 2 de los cuales (CR-1 & CR-2) fueron perforados y abandonados durante la campaña de exploración de los años ochenta. Luego, con la campaña de fines de los años 90 se intervino el pozo CR-2 con el objetivo de obtener cores y por otra parte, se perforó también el pozo CR-3. Estos pozos atravesaron los 6 reservorios productivos del campo: Vivian, Lower Chonta, Basal Chonta, Nia Kaatsirinkari, Noipatsite y Ene, probando reservas de Gas y Condensado.

Hacia el año 2000, la compañía Pluspetrol Perú Corp. S.A. se adjudica el lote 88 para desarrollar las reservas de gas de los yacimientos San Martín y Cashiriari. El plan para la puesta en producción del campo Cashiriari incluía la perforación de 8 pozos nuevos, 2 sidetracks y 2 pozos para disponer los recortes de perforación, usando las plataformas de los pozos CR-1 y CR-3 en dos etapas o fases.

Durante la primera fase del plan estipulado, que tuvo lugar entre los años 2008 y el primer semestre del año 2009, se perforó desde la plataforma del pozo CR-1, un sidetrack (Cashiriari-1R, pozo re-entry usando el pozo existente CR-1) y cuatro pozos nuevos: Cashiriari-1001D, Cashiriari-1002D, Cashiriari-1003D y Cashiriari-1004D, finalizada la cual se da como concluida la perforación en el PAD-CR1.

En la segunda mitad del año 2009, se continuó con el plan de desarrollo del campo con la perforación desde el PAD-CR3 de los pozos CR-3ST2 (pozo re-entry usando el pozo existente CR-3ST1) y Cashiriari-1006D. Durante el primer semestre del año 2010 se perforaron los pozos Cashiriari 1005, Cashiriari 1007D, quedando los trabajos del pozo Cashiriari 1008 para la segunda mitad del año 2010.

Mención aparte merece el pozo Cashiriari-1005D, que fue perforado en la dirección al flanco Norte para verificar los contactos de Gas/Agua en las formaciones Vivian, Chonta y Nia y luego re-direccionado hacia la parte más alta de la estructura (cresta) para completarse como pozo productor con la denominación de Cashiriari-1005DST1.

### **UBICACIÓN Y GEOLOGÍA**

El yacimiento Cashiriari se encuentra ubicado en la región sub-Andina de la cuenca Ucayali dentro de los linderos del lote 88 del área de Camisea, en el departamento de Cuzco, a una distancia de 500 Km al Este de la ciudad de Lima.

La estructura de Cashiriari es un pliegue anticlinal elongado en dirección WNW-ESE. A la profundidad de los principales reservorios se extiende por aproximadamente 35 Km. y tiene un ancho de 7 Km. El anticlinal es ligeramente asimétrico con el flanco norte más tendido de hasta 37° y el sur más empinado de más de 40°, presenta cierre estructural en las cuatro direcciones.

### **DESCRIPCIÓN DE LOS RESERVORIOS**

Los reservorios del Campo Cashiriari tienen buenos espesores y excelentes propiedades petrofísicas que permiten el almacenamiento de grandes volúmenes de gas. Estos reservorios tienen en total un espesor promedio de 460 m, de los cuales 240 m están mineralizados con gas, comprendiendo, desde el más reciente al más antiguo, las formaciones Vivian, Lower Chonta, Basal Chonta, Nia Kaatsirinkari, Noipatsite y Ene.

### **PROPIEDADES PETROFÍSICAS DE LOS RESERVORIOS**

Los parámetros petrofísicos tales como porosidad y saturación de fluidos fueron obtenidos de la interpretación de perfiles, y posteriormente fueron distribuidos en un modelo de tres dimensiones en toda la extensión de la estructura.

Los parámetros usados como cut-off para el cálculo de arena neta petrolífera fueron: Porosidad mayor a 6%, Saturación de Agua menor a 60% y Arcillosidad menor a 50%. En el cuadro adjunto se muestra el sumario petrofísico del pozo CR-1004D.

Formación	Top	Base	Gross Thickness	Net Reservoir	Net Pay	N/G	Phie	Sw	Vsh	
	MD	MD	TVD	TVD	TVD	RATIO	DEC	DEC	DEC	
<b>CASHIRIARI 1004D WELL</b>										
UPPER VIVIAN	2980.6	3032.9	30.6	28.7	20.9	0.941	0.181	0.325	0.039	
MIDDLE VIVIAN	3032.9	3071.4	22.6	10.3	10.3	0.456	0.127	0.231	0.197	
LOWER VIVIAN	3071.4	3124.2	30.4	29.7	29.7	0.975	0.179	0.043	0.045	
LOWER CHONTA	3325.8	3574.7	142.9	47.9	47.6	0.335	0.137	0.237	0.157	
BASAL CHONTA	3574.7	3602.1	15.9	No Data						
UPPER NIA	3602.2	3646.4	24.7	24.5	24.5	0.991	0.146	0.101	0.107	
MIDDLE NIA	3646.4	3734.4	42.9	24.3	24.3	0.568	0.092	0.174	0.127	
LOWER NIA	3734.4	3808.6	32.9	20.8	20.8	0.633	0.086	0.200	0.057	
UPPER NOI	3946.8	3994.9	21.8	13.2	12.6	0.608	0.100	0.338	0.085	
LOWER NOI	3995.0	4161.1	68.6	56.6	55.7	0.824	0.137	0.368	0.054	
ENE	4161.1	4249.1	40.4	17.6	17.6	0.436	0.098	0.178	0.111	

Durante el desarrollo del yacimiento, se realizaron intensas actividades de estudios y análisis petrofísicos con el objetivo de mejorar y optimizar las interpretaciones que influyen directamente en el cálculo de reservas, minimizando la incertidumbre y aumentando al máximo la confianza en el resultado final del cálculo.

Los registros eléctricos adquiridos en los pozos de Camisea muestran valores anormalmente bajos de resistividad aparente a través de algunas de las unidades de producción de gas. Estos valores anormalmente bajos de las resistividad eléctricas dan como resultado valores altos de saturación de agua cuando son usados en las fórmulas convencionales que existen para el cálculo de saturación de fluidos como por ejemplo la fórmula de Archie o doble agua, por lo cual se puede subestimar sustancialmente las reservas de gas in situ (GOIS). Se considera que la causa de estos valores anormalmente bajos de resistividades eléctricas es el efecto combinado de la baja salinidad del agua de formación y, como se observa en las imágenes de las secciones delgadas (fig.1), el recubrimiento de los granos de los reservorios con minerales y arcillas conductivas llamada Micro-porosidad, donde el contenido de residuos de hierro adicionan complejidad para las tareas de interpretación petrofísica.

Las herramientas de resonancia magnética son una buena alternativa para poder calcular la saturación de fluidos independientemente del tipo de roca y todos los efectos del que puedan ser objeto. En la fig.1 se observa la buena correlación que se tiene entre las medidas hechas con datos de resonancia y el empleo de la fórmula de Archie, usando valores de “m” y “n” bajos.

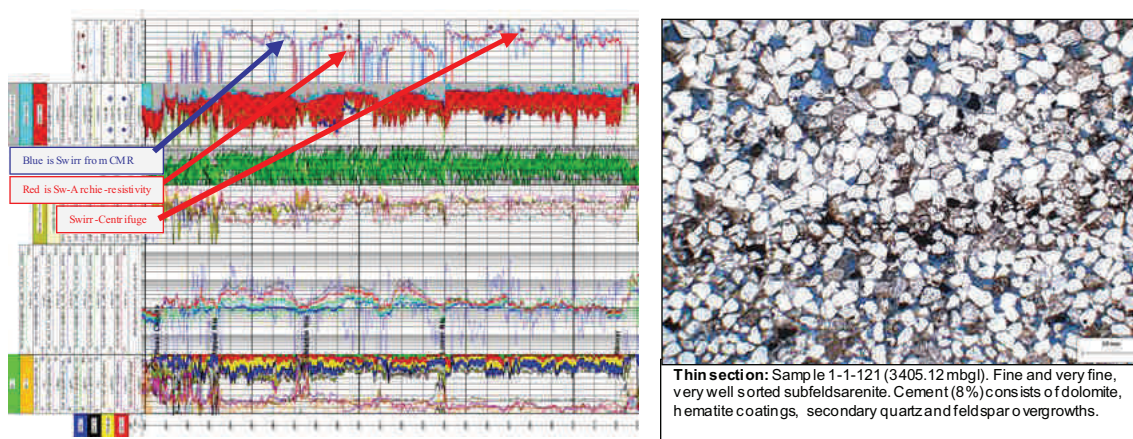


Fig. 1.- Comparación cálculo de Saturaciones, Resonancia Magnética vs Archie. Izq.: Sección delgada con “clay coating”

Por otro lado, los registros eléctricos muestran también efectos de invasión en los reservorios y se evidencian por la separación de las curvas de resistividad, que en algunos casos alcanzan a separarse, la curva de lectura somera con la profundidad en hasta un orden de magnitud; mientras que en otros casos las curvas se apilan como producto de la profunda invasión radial.

Para poder corregir las curvas de resistividad profundas afectadas por la invasión, se realizó un trabajo que consistió en diagnosticar y cuantificar los efectos de la misma. Se podrá observar que las correcciones aplicadas a las curvas hacen que las estimaciones de saturaciones de gas sean consistentes con los datos de producción que indican cero producción de agua y con los datos de saturación de agua irreducible medidos en las coronas disponibles.

El método de interpretación consistió en definir tipos de roca, basados en la separación de las curvas de resistividad, la lectura de la resistividad profunda, la porosidad calculada de registros de densidad y neutrón y la distribución del tamaño de poro. Para nuestro caso se determinaron 4 tipos de roca.

Se muestra que cada clase de roca se asocia con un conjunto único de propiedades petrofísicas estáticas o dinámicas estrechamente relacionadas con la diagénesis y estructura sedimentaria.

Se construyeron modelos de reservorio estático y dinámico multi-capas para cada clase.

Los modelos estáticos incluyen los valores de porosidad y de saturación de agua obtenidos a partir de la correlación numérica de la resistividad aparente y registros nucleares capa por capa. Son ideales para cuando se tiene una separación considerable de las curvas de resistividad.

Mientras que los modelos dinámicos incluyen valores de porosidad, permeabilidad absoluta, presión capilar, y la permeabilidad relativa estimada a partir de datos de corona, de la simulación del proceso de invasión del filtrado de lodo base-agua y la posterior correlación de la resistividad y registros nucleares capa por capa. Son adecuados para cuando la separación de las resistividades son pequeñas.

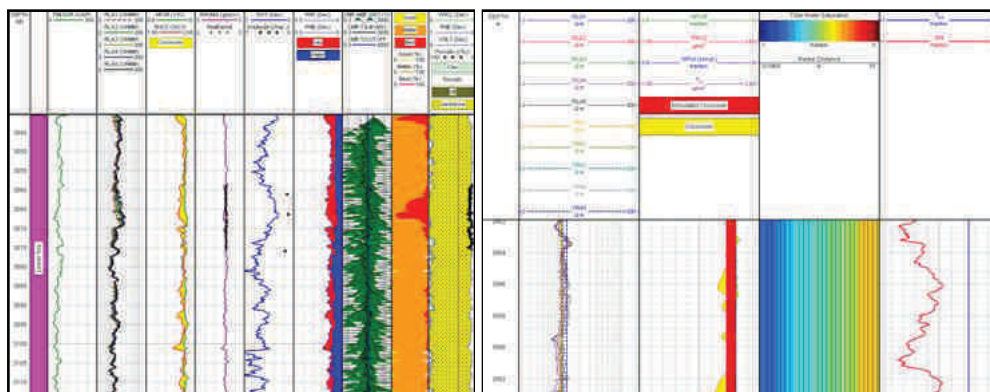


Fig. 2.- Izq.: Interpretación convencional con Archie (los 3 puntos negros son medidas de Saturación irreducible de agua de plugs de coronas por Presión Capilar). Der: Interpretación de Sw (línea azul) con correcciones por invasión y anisotropía.

Adicionalmente se decidió realizar análisis especiales de núcleos (SCAL) para determinar los

exponentes de Archie "m" y "n" de las diferentes formaciones y hacer mediciones de presiones capilares (Pc) que junto a la información de los registros de resonancia magnética nuclear son útiles para calcular los volúmenes de agua irreducible. El objetivo de estos trabajos por lo tanto es (pues estamos en medio del proceso), orientar mejor el cálculo de las saturaciones de fluidos de los registros eléctricos en estos ambientes complejos. Para tal efecto se usan los valores promedios de "m" y "n", por cada reservorio, teniendo los datos de Pc promedios, también por cada reservorio, como guía para validar el cálculo de las saturaciones de fluidos que influyen directamente en el cálculo de las reservas.

### DEFINICIÓN DEL CONTENIDO DE HIDROCARBUROS UTILIZANDO SÍSMICA 3D

La interpretación estructural de la Sísmica 3D de los horizontes al nivel de Vivian muestra un "doble pico" característico que hacia los flancos de la estructura se juntaban y se convertían en un solo evento. Con la finalidad de analizar este fenómeno, se realizó una clasificación de las formas de las ondas sísmicas en un intervalo que involucraba la formación Vivian. Los resultados de este análisis de formas de las ondas sísmicas mostraron una anomalía muy similar al del posible contacto de gas/agua observado en el estudio de anomalías de amplitudes sísmicas (Fig.3).

Basado en este estudio se perforó el pozo CR-1005D hacia el flanco norte de la estructura, con el objetivo de determinar el contacto en el reservorio más importante del yacimiento: VIVIAN. Los puntos de presión obtenidos mostraron gradiente de agua, y sirvieron para establecer el contacto de la formación Vivian en -1773 m.b.n.m. Esto nos corrobora el alto grado de exactitud de la anomalía de amplitud sísmica como herramienta para la estimación del límite de la mineralización.

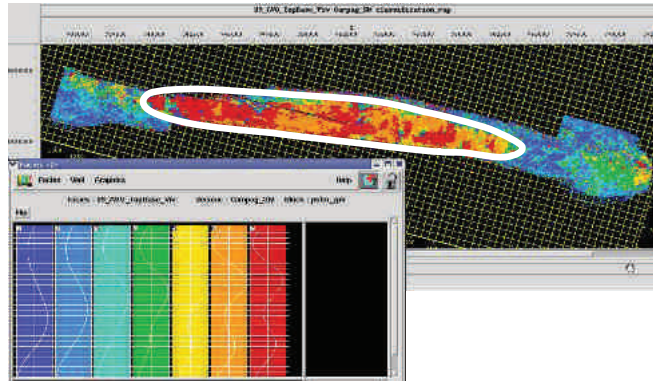
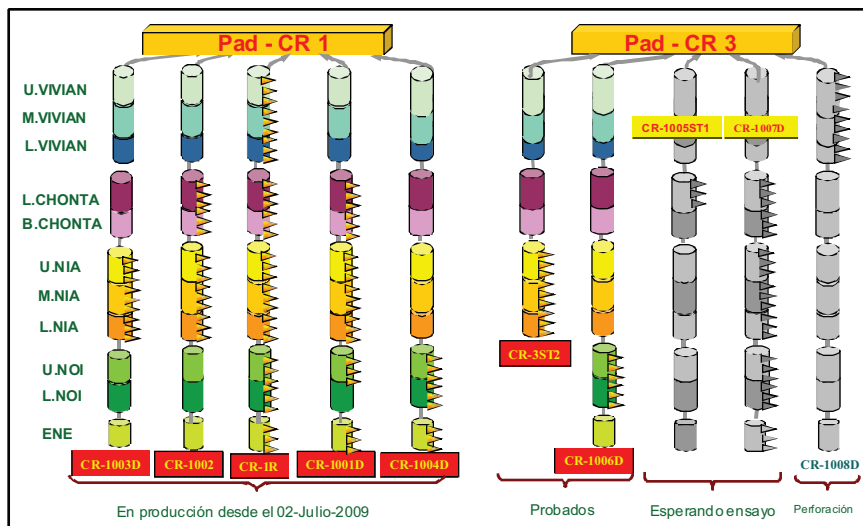


Fig. 3.- Variaciones de las formas de las ondas sísmicas. Desde doble pico (colores rojos, naranjas y amarillo) hasta clases de un solo pico (colores verdes y azules). Notar como se distribuye esas formas de las ondas sísmicas arealmente al nivel del reservorio más importante de Cashiriari: VIVIAN.

### Ensayo de pozos

Los ensayos de los pozos de Cashiriari se iniciaron en el año 2008, con la prueba del reservorio Vivian en el pozo CR-1R, obteniéndose un potencial máximo de producción de 1300 MMscfD; luego se ensayo el pozo CR-1001D. Durante el año 2009 se prueba producción de gas en los pozos CR-1002D, CR-1003D y CR-1004D. Finalmente en lo que va del 2010 se ensayaron los pozos CR-3ST2 y CR-1006D, quedando pendiente de probarse los pozos CR-1007D, CR-1005DST1 y CR-1008D para la segunda mitad del 2010.



### CONCLUSIONES

Las herramientas de resonancia magnética son útiles en la determinación de saturación de agua irreducible de los reservorios independientemente de la litología, sin embargo por la configuración de la herramienta y el tamaño de la antena que lleva es complicado de registrar, sobre todo en pozos inclinados.

El efecto de invasión es inevitable durante la perforación, sin embargo para los pozos de Camisea, se modificaron los parámetros del fluido de perforación de tal manera de minimizar este efecto en los registros eléctricos.

El método de corrección por invasión desarrollado por Pluspetrol, conjuntamente con doctores de la Universidad de Austin, muestra una opción bastante aceptable para corregir las lecturas de resistividad afectadas por este fenómeno de invasión, bastante profunda en algunos casos.

Los ensayos de petrofísica especial (SCAL), merecen tener cuidados especiales, desde la preservación de la corona hasta la limpieza de los plugs elegidos para los ensayos, pasando por la verificación de los procedimientos de los mismos.

La casi coincidencia entre la anomalía de amplitud y de facies sísmicas y el contacto Gas / agua encontrado con cruce de gradientes (RFT) en el pozo CR-1005D demuestran la efectividad de esta metodología utilizada



para el resto de los campos. Esta aseveración se ve reforzada por la analogía con el campo San Martín donde las anomalías de amplitudes sísmicas constituyen un indicador directo para la detección de hidrocarburo (DHI).

## **REFERENCIAS**

- Marvin Markley, en prensa, Micro-porosity & Laminations in Non-Archie Reservoirs creates challenges for Water Saturation Computation and Reserves Evaluation-Camisea, Perú, LACPEC 2010.
- A. Disalvo, J. Chung, F. Seminario, J. Luquez, M. Arteaga, J. Gabulle, 2008, Sistemas Petroleros del Gran Camisea Sur de la cuenca Ucayali, Perú, CONGRESO DE MAR DEL PLATA 2008.
- A. Gandhi, C. Torres-Verdín, B. Voss, J. Gabulle, F. Seminario, 2010, Construction of Reliable Static & Dynamic Multi-layer Petrophysical models in Camisea Gas Reservoirs, Perú, SPWLA 2010.