



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA**

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS CURVAS DE
RESISTIVIDAD GENERADAS POR LA HERRAMIENTA ARC EN EL
CAMPO ZUATA PRINCIPAL, BLOQUE JUNIN 6**

**REALIZADO POR:
DIELBIS MARINA LOPEZ PEREIRA**

**Trabajo Especial de Grado Presentado como Requisito Parcial para Optar al
Título de:
INGENIERO DE PETRÓLEO**

MATURÍN, NOVIEMBRE 2013

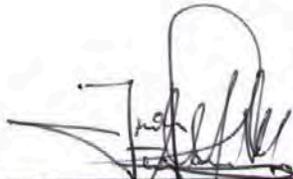


**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA**

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS CURVAS DE
RESISTIVIDAD GENERADAS POR LA HERRAMIENTA ARC EN EL
CAMPO DE ZUATA PRINCIPAL-BLOQUE JUNIN 6**

**REALIZADO POR:
DIELBIS MARINA LOPEZ PEREIRA
C.I.: 20918007**

REVISADO POR:



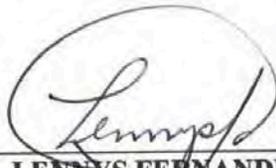
ING MSc. JUAN F. PERAZA

Asesor Académico



ING. MELISA RAMIREZ

Asesor Industrial



ING. LENNYS FERNANDEZ

Co- Asesor Académico

MATURÍN, NOVIEMBRE 2013



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS CURVAS DE
RESISTIVIDAD GENERADAS POR LA HERRAMIENTA ARC EN EL
CAMPO ZUATA PRINCIPAL, BLOQUE JUNIN 6**

REALIZADO POR:
DIELBIS MARINA LOPEZ PEREIRA
C.I.: 20918007

APROBADO POR:

ING. CESAR RIVERO
JURADO PRINCIPAL

ING MSc. JUAN F. PERAZA
ASESOR ACADÉMICO

ING. LUIS AVILA
JURADO PRINCIPAL

ING. LENNYS FERNANDEZ
CO-ASESOR ACADÉMICO

MATURÍN, NOVIEMBRE 2013



RESOLUCIÓN

De acuerdo al Artículo 41 del Reglamento de Trabajos de Grado de la Universidad de Oriente: “Los Trabajos de Grado son propiedad exclusiva de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario.

AGRADECIMIENTO

GRACIAS infinitas a ti DIOS, sin ti nada de esto hubiese sido posible, GRACIAS por tu presencia en mi vida, GRACIAS por mostrarme las grandes cosas que haces en la vida de aquel que coloca su confianza en TI, de aquel que te cree a TI. Yo decidí creerte a TI PAPÁ, GRACIAS por ser ese guía mostrándome el camino, por ser ese maestro enseñándome que el título más grande e increíble que podemos tener es el ser llamados hijos tuyos, por ser ese compañero incondicional, por ser ese amigo fiel. GRACIAS DIOS, TU mi fuerza, mi fortaleza, la razón de mi existencia, pequeña se quedan mis palabras al describir tu grandeza, GRACIAS por tanto.

A la Universidad de Oriente por brindarme la oportunidad de formarme como profesional.

A la empresa Schlumberger, en especial al segmento de D&M por abrir sus puertas y brindarme la oportunidad de poder realizar mis pasantías, convirtiéndose en ese impulso en mi carrera, a mi tutora Melisa Ramírez gracias por todo tu apoyo y ayuda, a Alexis Marín, gracias por todos los consejos, ayuda, paciencia y guía que siempre me brindaste, infinitamente agradecida y a todos los chicos de campo por toda esa apoyo y conocimientos transmitidos. Muchas Gracias.

A mis asesores Juan F. Peraza y Lennys Fernández, gracias por su apoyo, ayuda, y consejos durante la realización de este proyecto. Muchas Gracias.

A ese ser maravilloso que DIOS me ha dado como PADRES, los pilares más grandes en mi vida, mi ejemplo a seguir, GRACIAS por tanto, gracias por su apoyo incondicional, por su grandioso AMOR, por todos los esfuerzos y sacrificios, por sus sabios consejos; por hacer de mi lo que soy ahora, LOS AMO Francis y Rolando.

A mis hermanos, Rolando, Rosmary, Marielba, Jesús y Pablo, GRACIAS por ser ese motor que impulsa mi vida, por ser uno de los motivos más grandes por el que nunca me di por vencida, GRACIAS por tanto amor, por su apoyo. LOS AMO MUCHO.

A la mujer de mi vida, a ese ser que ha cuidado de mí siempre, a ti mi chiqui GRACIAS, por tus sabias palabras, por darme siempre ese impulso de seguir adelante, TU mi princesa. TE AMO Elba López.

A los segundos padres que DIOS me ha regalado, Dinoyra López y Pablo Millán, no existen palabras que expresen lo infinitamente agradecida que estoy con ustedes, gracias por su inmenso amor y apoyo siempre, no se imaginan lo importante que son en mi vida.

A todos mis tios y primos, gracias por todo su apoyo, los AMO familia.

A ti tia Milena y Miguel Jose GRACIAS por ser esos angeles que DIOS coloco en mi camino, para poder hacer mis pasantías. Gracias por sus consejos.

A mis amigas y compañeras de camino, Paola, Danesa y Veronica, más que amigas HERMANAS. Y a mi querido amigo Concha. LOS AMO.

A Zul, Julio, Chong, Pedro, Mierez, Uby, Luis, María, Patricia, Joaquín. Por demostrarme que a pesar de la distancia y el tiempo la amistad perdura. LOS AMO.

A esos ángeles que DIOS me ha regalado aquí en la tierra mi gran y hermosa familia KAIROI, gracias por todo chicos, por ser ese instante de DIOS en mi vida y ud Sr Esaud, ustedes son un gran reflejo de DIOS en mi vida. LOS AMO.

DEDICATORIA

A ti amado PADRE, a ti hermoso, maravilloso e increíble DIOS, las palabras se quedan cortas para expresar tu grandeza, GRACIAS por tanto, nada hubiese sido posible sin ti. No es necesario dedicártelo pues TU DIOS eres el autor principal de este trabajo, GRACIAS, GRACIAS por iluminarme, por darme sabiduría, por ser ese pilar fundamental en mi vida, por ser esa mano que me sostenía cuando sentí que iba a caer, por ser mi fuerza y mi fortaleza, GRACIAS PAPÁ, por ser mi guía, por ser la luz en mi sendero aun cuando todo parecía nublarse. NADA de esto tendría sentido si no fuese por ti mi REY, toda gloria, toda alabanza y exaltación sea a TI siempre. GRACIAS por ser mi maestro, y enseñarme que detrás de cada situación y experiencia hay un propósito, y que absolutamente todo tiene una razón de ser. TE AMO con mi vida DIOS.

A esa grandiosa e increíble familia que DIOS me ha regalado, sin ustedes nada de esto hubiese sido posible, por ser ese motor que impulsa mi vida, , por todo el inmenso AMOR que me regalan siempre, este logro es de ustedes. LOS AMO.

Para mis hermanos y primos, nunca se pongan límites en la vida, con perseverancia, trabajo, paciencia, voluntad y fe pueden alcanzar cada todo lo que se propongan, sin olvidar nunca que lo más hermoso de una persona es su humildad.

Para TI tío amado JULIO, porque se aunque físicamente no te tenga conmigo para abrazarte y decirte: cuanto te amo, hoy te digo “TIO lo logre”, sé que desde el cielo eres ese ángel que ahora nos cuida y se que celebras conmigo este logro, TE AMO TIO. Este logro es tuyo también.

Dielbis M. López P.

ÍNDICE GENERAL

| | Pág. |
|--|-------------|
| RESOLUCIÓN | iv |
| AGRADECIMIENTO | v |
| DEDICATORIA | vii |
| ÍNDICE GENERAL | viii |
| LISTA DE FIGURAS | x |
| RESUMEN | xi |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO I | 2 |
| EL PROBLEMA Y SUS GENERALIDADES | 2 |
| 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 2 |
| 1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN..... | 4 |
| 1.2.1 Objetivo General..... | 4 |
| 1.2.2 Objetivos Específicos | 4 |
| 1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN..... | 5 |
| CAPÍTULO II | 6 |
| MARCO TEÓRICO | 6 |
| 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN | 6 |
| 2.2 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO..... | 7 |
| 2.3 ESTRATIGRAFÍA DE LA ZONA..... | 10 |
| 2.4 FUNDAMENTOS TEÓRICOS | 10 |
| 2.4.1 Sistemas De Telemetría..... | 12 |
| 2.4.2 Resistividad | 18 |
| 2.4.2.1 Medición de resistividad..... | 19 |
| 2.4.3 Medición de la onda electromagnética | 22 |
| 2.4.3.1 Cambio de fase..... | 22 |
| 2.4.3.2 Atenuación..... | 23 |
| 2.4.3.3 Transformada de Atenuación y cambio de fase a resistividad..... | 24 |
| 2.5 CONCEPTOS O TERMINOS BASICOS | 25 |
| CAPÍTULO III | 28 |
| MARCO METODOLÓGICO | 28 |
| 3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN..... | 28 |
| 3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN | 28 |
| 3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA | 29 |
| 3.4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO | 29 |
| 3.4.1 Describir las formaciones de la columna estratigráfica del campo Zuata principal perteneciente al bloque Junín 6..... | 30 |
| 3.4.2 Estudiar el comportamiento de las curvas de resistividad generadas por el ARC en la zona objetivo | 30 |

| | |
|---|------------|
| 3.4.3 Determinar las curvas de resistividad que mejor cotejen las condiciones de los fluidos presentes en la formación del campo Junín, perteneciente al bloque Junín 6 | 31 |
| 3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS | 34 |
| 3.5.1 Técnica de recolección de datos | 34 |
| 3.5.1 Herramientas..... | 35 |
| CAPÍTULO IV | 37 |
| ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 37 |
| 4.1 DESCRIBIR LAS FORMACIONES DE LA COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DEL CAMPO ZUATA PRINCIPAL PERTENECIENTE AL BLOQUE JUNÍN 6..... | 37 |
| 4.1.1 Correlaciones y Secciones | 41 |
| 4.2 ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS CURVAS DE RESISTIVIDAD GENERADAS POR EL ARC EN LA ZONA OBJETIVO | 47 |
| 4.3 DETERMINAR LAS CURVAS DE RESISTIVIDAD QUE MEJOR COTEJEN LAS CONDICIONES DE LOS FLUIDOS PRESENTES EN LA FORMACIÓN DEL CAMPO JUNÍN, PERTENECIENTE AL BLOQUE JUNÍN 6..... | 58 |
| CAPÍTULO V..... | 75 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 75 |
| 5.1 CONCLUSIONES | 75 |
| 5.2 RECOMENDACIONES | 77 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 79 |
| APÉNDICES..... | 81 |
| HOJAS METADATOS | 132 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| Figura 2.1. Mapa de ubicación del Bloque Junín 6..... | 8 |
| Figura 2.2 Demodulación de la señal..... | 12 |
| Figura 2.3. Diagrama esquemático del Pulso Negativo..... | 13 |
| Figura 2.4. Diagrama esquemático del Pulso Positivo..... | 14 |
| Figura 2.5. Diagrama de funcionamiento de Transmisión Electromagnética..... | 15 |
| Figura 2.6 Pulso de ondas Continuas..... | 16 |
| Figura 2.7 Modulador del Telescope..... | 17 |
| Figura 2.8 Monitoreo de tendencias..... | 19 |
| Figura 2.9 Array Resistivity Compensated (ARC)..... | 20 |
| Figura 2.10 Transmisión de onda electromagnética..... | 22 |
| Figura 2.11 Cambio de fase..... | 23 |
| Figura 2.12 Atenuación..... | 23 |
| Figura 2.13 Transformadas: Cambio de fase y atenuación a resistividad. (Fuente: Manual Schlumberger: ARC SelfLearningPackage)..... | 24 |
| Figura 4.1 Ejemplo de la columna estratigráfica..... | 37 |
| Figura 4.2. Sección Estructural Norte-Sur Junín 6..... | 43 |
| Figura 4.3. Sección Estratigráfica Oeste-Este Junín 6..... | 44 |
| Figura 4.4. Mapa en planta de las fallas presentes en el Bloque Junín 6..... | 45 |
| Figura 4.5. Mapa de paleoambientes del yacimiento Oligoceno..... | 46 |
| Figura 4.6 Sección estratigráfica del pozo PZ1..... | 49 |
| Figura 4.7 Sección de registro, arena productiva (Oligoceno), en distintos pozos..... | 50 |
| Figura 4.8 Sección de registro, arena productiva (Oligoceno) del slant PZ2- 00SE..... | 52 |
| Figura 4.9. Estudio Petrofísico del Pozo PZ1-00, Campo Zuata..... | 53 |
| Figura 4.10 Sección de registro, arena productiva (Oligoceno)..... | 57 |
| Figura 4.11 Sección de registro, arena productiva del slant PZ2-00SE..... | 59 |
| Figura 4.12 Sección de registro, arena productiva del slant PZ2-00SE..... | 60 |
| Figura 4.13 Sección de registro, arena productiva del slant PZ2-00SE..... | 60 |
| Figura 4.14 Onda electromagnética (baja frecuencia)..... | 61 |
| Figura 4.15 Onda electromagnética (alta frecuencia)..... | 61 |
| Figura 4.17 Sección de registro, arena productiva del slant PZ2-00SE..... | 66 |
| Figura 4.18 Sección de registro, arena productiva del slant PZ2-00NE..... | 68 |
| Figura 4.19 Estratos de una formación, durante perforación con ARC..... | 70 |
| Figura 4.20 Geonavegación de pozo en zona prospectiva..... | 70 |
| Figura 4.21 Geonavegación de pozo en zona prospectiva..... | 71 |
| Figura 4.22 Sección de registro, arena productiva del pozo PZ2-00NE..... | 73 |
| Figura 4.23 Plan Direccional del pozo PZ2-00NE. Schlumberger..... | 74 |



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS CURVAS DE
RESISTIVIDAD GENERADAS POR LA HERRAMIENTA ARC EN EL
CAMPO ZUATA PRINCIPAL, BLOQUE JUNIN 6**

Realizado por: Asesores Académicos Asesor Industrial
Dielbis López **Ing. Msc Juan F. Peraza** **Ing. Melisa Ramírez**
Ing. Lennys Fernández

RESUMEN

La finalidad del presente trabajo se centró en el estudio del comportamiento de las curvas de resistividad generadas por el ARC (ArrayResistivityCompensated), la cual permite llevar a cabo registros durante la perforación (LWD, por sus siglas en inglés), en el campo Zuata principal, con el objeto de determinar cuáles de esas curvas proporcionan un diagnóstico detallado de las condiciones de la formación. Para llevar a cabo este análisis fue necesario realizar una descripción de las unidades litoestratigráficas de la formación del campo Zuata, de igual manera, se realizó la recopilación de toda la información petrofísica y referente al principio de funcionamiento de la herramienta, para proceder al estudio de las curvas de resistividad, haciendo uso de la data obtenida durante la perforación de 8 pozos. Se obtuvo como resultado que las curvas que mejor cotejan las condiciones de los fluidos presentes en la formación son: P16H, P22H, P28H, P34H y P40H, fue posible determinar que mediante el uso de las curvas A16L, A22L, A28L, A34L y A40L, es viable mantener un mejor control de la navegación en pozos horizontales. Una vez concluido el estudio se estima proporcionar información adicional para la caracterización del campo, así mismo optimizar el proceso de perforación, permitiendo agilizar el proceso de análisis – decisión, que permita llevar a cabo una colocación óptima del pozo, maximizando de esa manera el recobro de reservas, además, mejorar y potenciar el uso de las curvas de resistividad obtenidas

Descriptor: registro de resistividad, Herramienta ARC, Bloque Junín 6.

INTRODUCCIÓN

Durante la perforación de un pozo son muchos los parámetros que se deben considerar, para construir de forma adecuada el hoyo garantizando de ese modo el recobro óptimo de reservas. Uno de los parámetros más importantes a considerar es la resistividad, a través de la cual no solo es posible conocer las condiciones de los fluidos, sino que además permite evaluar las condiciones de la roca presente en el área circundante al pozo. Los cambios producidos en el ambiente de la zona circundante al pozo desde el momento en que se inicia la perforación afectan las condiciones originales del yacimiento. Uno de los cambios más significativos es producto de la invasión del filtrado de fluido de perforación hacia la formación, originando tres zonas conocidas como “Zonas de Invasión”. Este fenómeno origina la necesidad de desarrollar herramientas capaces de generar mediciones con una elevada profundidad de investigación.

La medición de la resistividad ha estado en constante desarrollo, desde herramientas capaces de generar únicamente mediciones después de haber perforado el pozo, hasta la avanzada tecnología de LWD, a través de la cual no solo es posible obtener registros mientras se perfora, sino además llevar a cabo mediciones a diferentes profundidades de investigación. Esta tecnología se propaga a través de todo el mundo sin embargo en muchos países su uso se estandariza, tal como es el caso de Venezuela, en donde una de las herramientas más utilizadas es el ARC (herramienta de Schlumberger) la cual es capaz de proporcionar hasta 20 mediciones de resistividad a diferentes profundidades de investigación, pero de las cuales por lo general solo se utilizan dos, es por ello que se realiza este estudio con la finalidad de estudiar la factibilidad de optimizar el uso de las curvas de resistividad obtenidas a través de la mencionada herramienta, mediante un análisis del comportamiento de tales curvas específicamente en el bloque Junín 6.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA Y SUS GENERALIDADES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Al perforar un pozo, los fluidos dentro de los poros de la roca que rodea al hoyo pueden verse desplazados o contaminados debido a la invasión por el filtrado del fluido de perforación; como consecuencia de la condición de sobrebalance ($P_h > P_{yac}$), la cual obliga al filtrado a migrar a la formación, originando en el yacimiento tres zonas: una zona lavada, una zona de transición y una zona virgen.

La necesidad de estudiar y analizar las condiciones de la formación ha impulsado el desarrollo de los registros eléctricos los cuales mediante la generación de ondas eléctricas permiten medir o conocer ciertas propiedades de la roca y de los fluidos que contiene.

El interés al generar registros de pozos por lo general está en la zona virgen o no invadida. Es por ello que surge la necesidad de diseñar herramientas de registros de pozos aptos para evaluar más allá de la zona contaminada. Antiguamente no existía dispositivo alguno capaz de proporcionar lecturas lo suficientemente profundas bajo todas las circunstancias y a la vez, mantener una buena resolución vertical. La industria petrolera, entonces, impulsó el desarrollo de herramientas no solo capaces de proporcionar lecturas a diferentes profundidades, sino que además realizarlas mientras se perforaba. Es así como nace el registro del pozo durante la perforación (LWD, por sus siglas en Ingles) el cual viene a generar un aporte relevante en la definición de los yacimientos y combinado con los procesos de

modelado permiten optimizar la colocación de pozos durante la perforación, marcando el advenimiento de una nueva era en el manejo de los yacimientos.

Una de las empresas pioneras en el desarrollo de la tecnología de LWD fue Schlumberger. La introducción de esta tecnología en Venezuela, marcó un gran avance en la perforación de pozos petroleros, así pues, Schlumberger se impone en la industria petrolera venezolana con herramientas tales como el CDR (por sus siglas en inglés, resistividad doble compensada) la cual marca los estándares industriales para las herramientas LWD con su introducción en los 80's. Con la medición de dos resistividades de propagación electromagnética a diferentes profundidades de investigación y resoluciones verticales (Rps se refiere a la resistividad por cambio de fase somera; Rad a la resistividad de atenuación profunda). Posteriormente lanza al mercado herramientas tales como: EWR y SCWR las cuales permitían medir una curva adicional (intermedia) de resistividad.

Schlumberger continua en el desarrollo de herramientas de LWD y en los años siguientes lanza al mercado una nueva generación de herramienta denominadas ARC (ArrayResistivityCompensated), capaces de generar un total de 20 lecturas de resistividad a diferentes profundidades de investigación. Sin embargo, la llegada de esta nueva generación de herramientas no proporciona mayor impacto en Venezuela puesto que con la generación de CDR, la industria en el país se estandarizó en el sentido de correr simultáneamente solo dos curvas de resistividad una somera y profunda y en algunos casos una curva intermedia.

Es por ello que nace la iniciativa de llevar a cabo un análisis de las curvas de resistividad obtenidas con la corrida del ARC en el campo Zuata principal perteneciente al bloque Junín 6, asignado a la empresa mixta Petromiranda S.A. con el propósito de proporcionar información completa del comportamiento de las

referidas curvas, mediante el estudio de la factibilidad de utilizar curvas de resistividad adicionales a las que por lo general son empleadas (P28H y P40H y en algunos casos la P16H), de manera que se obtenga un estudio más detallado y completo de las condiciones de las rocas y los fluidos presentes en la formación, optimizando así el uso de tales curvas, y generando de esa manera un aporte a la caracterización de las unidades litoestratigráficas del bloque Junín 6, el cual por ser un campo recientemente explotado, la caracterización e información con la que se cuenta es muy poca.

1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 Objetivo General

Analizar el comportamiento de las curvas de resistividad generadas por la herramienta ARC en el campo Zuata Principal, bloque Junín 6.

1.2.2 Objetivos Específicos

Describir las formaciones de la columna estratigráfica del Campo Zuata principal perteneciente al bloque Junín 6.

Estudiar el comportamiento de las curvas de resistividad generadas por el ARC en la zona objetivo.

Determinar las curvas de resistividad que mejor cotejan las condiciones presentes en la unidad litoestratigráfica objetivo del campo Zuata principal, bloque Junín 6.

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Debido a la gran importancia e influencia que poseen las curvas de resistividad en la evaluación de las condiciones de las rocas y los fluidos presentes en el área circundante al pozo, se establece la necesidad de realizar un estudio de las mismas como valor agregado al servicio prestado por Schlumberger, con el fin de representar bajo bases teóricas el análisis del comportamiento que presentan cada una de las 20 curvas de resistividad generadas por el ARC durante la perforación de los pozos: PZ1-00-SE, PZ1-00-NE, PZ1-00-NO, PZ1-00-SO, PZ2-00SL1, PZ2-00SL2, PZ2-00SL3, PZ2-00SL4; y determinar cuáles de esas curvas proporcionan un diagnóstico detallado de las condiciones de la formación, a partir de la cual pueda optimizar el proceso de perforación, evitando problemas y permitiendo agilizar el proceso de análisis – decisión, que finalmente permita llevar a cabo el recobro óptimo de reservas, además, optimizar y potenciar el uso de las curvas de resistividad obtenidas por el ARC, aumentando la calidad de la información proporcionada.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Li, Q. Bratton, T. Smits, J. Doghmi, M (2004); presentaron su investigación en el simposio anual de registros de pozo realizado en Oiso (Japón) ante la Sociedad de Petrofísicos y Analistas de Pozos titulada **“Interpretación de registros de resistividad obtenido mediante herramientas de LWD en pozos de ambientes complejos basados en ejemplos de campos”** mediante esta investigación lograron demostrar el beneficio de la nueva generación de herramientas de propagación electromagnética capaces de generar múltiples espaciamentos y múltiples frecuencias, en pozos de ambiente complejo.. Plantearon que un importante beneficio de la nueva generación de herramientas, es que la medición con la frecuencia más pequeña es casi inmune a los efectos de excentricidad de la herramienta, mediante las mediciones obtenidas con la frecuencia de 400 kHz (baja frecuencia) pudieron llegar a identificar la excentricidad como causa de la extraña separación de las curvas observada en zonas con formaciones muy conductivas. Además demostraron como las mediciones de resistividad realizadas con herramientas tales como el ARC, pueden ser interpretadas en presencia de complicaciones en el pozo y resaltaron la importancia de la generación de múltiples mediciones a diferentes profundidades de investigación en tiempo real las cuales proporcionaron información valiosa para ajustar el proceso de perforación y mantener la estabilidad del pozo.

Rasmus, J. Jacobsen, S. Crary, S. Spaeth, R (2005), presentaron su trabajo de investigación en la conferencia técnica anual de la sociedad mundial de ingenieros de petróleo (SPE) titulada **“Análisis de los efectos de invasión en los registros de resistividad”** para llevar a cabo su análisis utilizaron distintos tipo de herramientas

de resistividad de inducción y de laterolog, analizando distintos casos de campo en los cuales se corrieron herramientas las referidas herramientas. Lograron demostrar la ventaja de las herramientas de laterolog, en la toma de mediciones durante la perforación, en las cuales los efectos de invasión se veían reducidos en comparación con herramientas de inducción. Se demostró también la ventaja que representa en la interpretación de registros de resistividad, llevar a cabo múltiples mediciones con diferentes profundidades de investigación.

2.2 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La Faja Petrolífera del Orinoco ocupa la franja meridional de la Cuenca Oriental de Venezuela, al sur de los Estados Guárico, Anzoátegui, Monagas y Delta Amacuro, paralela al curso del río Orinoco. Abarca una extensión de 600 km de este a oeste y 70 km en dirección norte-sur con un área aproximada de 55314 km². Ha sido definida en cuatro áreas de oeste a este, en honor a las batallas más importantes de la Guerra de Independencia de América Latina: Boyacá, Junín, Ayacucho y Carabobo, (anteriormente llamadas Machete, Zuata, Hamaca y Cerro Negro).

Actualmente existe un área de explotación de crudos extra pesados de 4.147,25 Km², operada por PDVSA (Bare y Cabrutica) y cuatro empresas mixtas (Petrolera SINOVENSA, PETROPIAR, PETROCEDEÑO, PETROMONAGAS) bajo la figura de Negocio Integrado (Producción y Mejoramiento). El esquema de producción y mejoramiento de crudos extra pesados de cada una de estas empresas ha operado de manera confiable y exitosa desde el año 1998.

El área Junín se encuentra ubicado en el Oriente de Venezuela en un área enmarcada dentro de los estados Anzoátegui y Guárico. Por el Norte las ciudades más importantes son Barcelona y Puerto La Cruz, en el Estado Anzoátegui a unos

180 Km y por el Noroeste la ciudad de El Tigre a aproximadamente 120 Km (Figura 2.1).

El Bloque Junín 6 se encuentra dentro del área Junín en el flanco sur de la Cuenca Oriental, específicamente dentro de la sub-cuenca Maturín. El área total del Bloque es de 447,85 km², con 22,392 km de Este a Oeste y 20 km. de norte a sur. Limita al norte con el bloque Junín 5, al sur con Junín 7, al oeste con Junín 4 y al este con el bloque Junín 10.

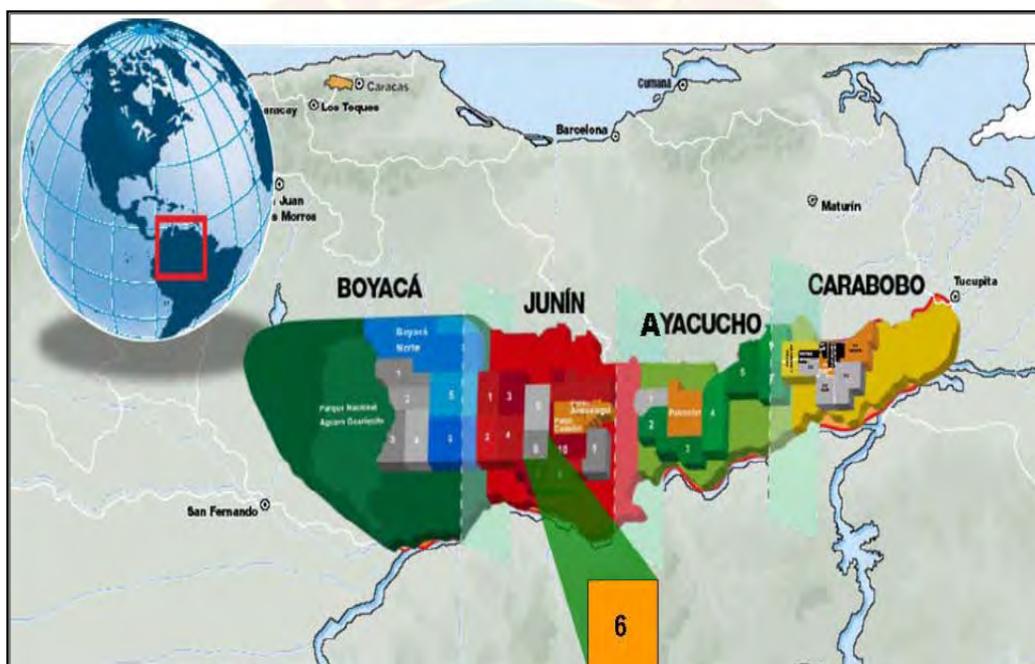


Figura 2.1. Mapa de ubicación del Bloque Junín 6

Fuente: Plan de Desarrollo Bloque Junín 2012.

El bloque Junín 6 actualmente está siendo explotado por la empresa mixta Petromiranda conformada por la estatal de Petróleos de Venezuela SA (PDVSA), con un 60 por ciento, y el Consorcio Nacional Petrolero Ruso, con el 40 por ciento restante.

El área contiene un POES de 52,68 MMMBls, el cual permite sostener el potencial de producción en esta área, siendo Arenas Basales y Oligoceno, las zonas que concentran el mayor volumen de hidrocarburos y los mayores espesores de arena neta petrolífera. Es de señalar que las profundidades a las cuales se enmarcan los Miembros Arenas Basales y Oligoceno, en el área de Junín 6, son favorables para la movilidad natural de crudo por la menor viscosidad, lo cual favorece en la producción de petróleo en esta. Los datos bases del bloque Junín 6 se muestra en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1 Características básica del bloque Junín 6

| Área | Junín 6 |
|--|------------------------------|
| Extensión | 447,85 Km² |
| Pozos | 14* |
| Profundidad | 550-968 pies bnm |
| Espesor (ANP) | 145 - 306 pies |
| ° API | 7 – 9 |
| Viscosidad | 2000-7000 CP |
| Permeabilidad Absoluta | 1 - 30 Darcys |
| Saturación inicial de agua | 11% - 23% |
| Saturación inicial de Petróleo | 78% - 83 % |
| Porosidad | 20% - 40% |
| Boi | 1,05 BY/BN |
| POES | 52.682.887 MBN |
| Reservas Oficiales Certificadas | 10.958.705 MBN |

* En el área existen 14 pozos, de los cuales solamente 8 cuentan con toda la información geológica para la cuantificación de reserva. (Pozos netamente de investigación y caracterización)

2.3 ESTRATIGRAFÍA DE LA ZONA

El reservorio principal del bloque Junín-6 tiene como objetivo potenciar la Formación Merecure del Oligoceno y Arenas basales del Miembro Morichal de la Formación Oficina del Mioceno temprano. La estructura está representada por un monoclinual cortado por un sistema de fallas normales escalonadas de alto ángulo que cortan toda la sección geológica y que además presentan continuidad hacia los bloques adyacentes. Está constituido por tres (3) yacimientos: OFIIA SDZ0002, OFIIB SDZ0002 y MER SDZ0002.

Según la informe de geología presentado en el plan de desarrollo del Bloque Junín 6, 2012 por PDVSA Petromiranda:

(...) La columna estratigráfica regional del campo Junín 6, está compuesta por rocas del paleozoico (Formación Carrizal y Hato Viejo) cuyo límite de extensión areal está dentro del Bloque Junín 6. La sección de edad Cretácico (Formaciones Tigre/Canoa) están erosionadas dentro del bloque Sobre la sección de edad Paleozoico, en la parte Norte del Bloque Junín 6; y sobre el basamento ígneo-metamórfico en la parte Sur, yace discordantemente la sección de edad Oligoceno (Formación Merecure). Sobre la sección de edad Oligoceno yace discordantemente la Formación Oficina. El intervalo objetivo tiene un espesor total 180 m, está representado por depósitos de arena distribuido de manera intercalada con argilita, limolita y grava con un espesor total de arena neta petrolífera de 100 m. La porosidad de la arenisca esta entre 20-38%. Existe combinación de condiciones erosivas de sedimentación. Objetos individuales de arenas estratificadas y cortadas entre si formando, bancos de arena de espesor de 200 pies cada uno (70 m). (p.82)

2.4 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

La herramienta LWD es un sistema que se ubica en el ensamblaje de fondo (BHA), permitiendo que la sarta sea configurada para registros específicos y

requerimientos de perforación. Consiste de una serie de sensores que registran una variedad de datos, tanto de evaluación de formación como de optimización de la perforación mientras se perfora, reduciendo el tiempo de perforación y el impacto de daño hacia la formación.

La data adquirida por los sensores de fondo M/LWD puede ser transmitida a la superficie en tiempo real por telemetría de pulso de lodo, mientras que otras herramientas transmiten la data a superficie electrónicamente a través de un cable y son referidos como sistemas MWD por guayas.

Esta transmisión de datos puede ser obtenida usando uno de los tres sistemas de telemetría diferentes para obtener data en tiempo real y/o grabados en la memoria de fondo para luego ser recuperados en la superficie después de cada mecha corrida.

Todos los sistemas de telemetría usan un esquema de datos de modulación de pulso-posición en código. Estos pulsos son convertidos en voltajes eléctricos en la superficie por un traductor situado en la tubería de descarga de las bombas de lodo (observe Fig. 2.2). Debido a que el tiempo de llegada de estos pulsos a la superficie puede ser precisamente determinado, los valores de los datos se traducen en código como una variable de retraso de tiempo entre dos pulsos consecutivos.

Esta variable de tiempo, permite que se produzcan múltiples bits de datos, para luego ser comunicados con un pulso. Una vez que la señal es transmitida por la columna de fluido, el equipo de superficie decodifica la información, las cuales representan las mediciones realizadas por la herramienta.

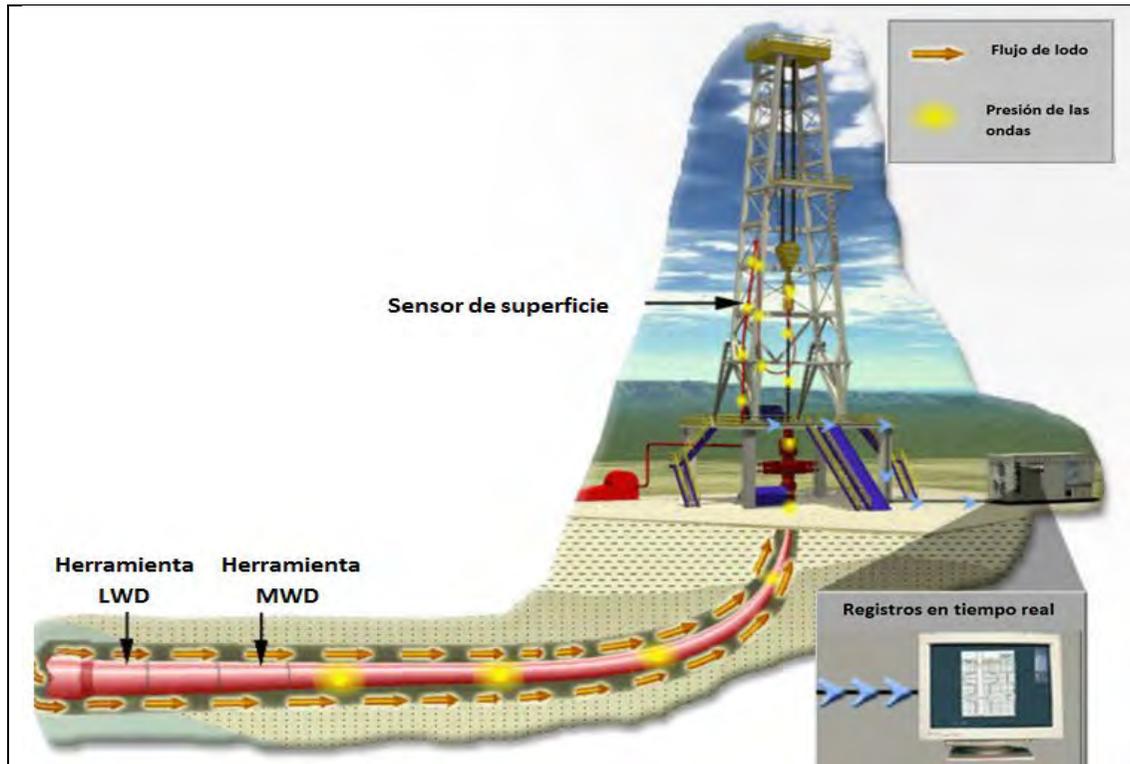


Figura 2.2 Demodulación de la señal

(Fuente: Manual MWD Telemetría de Schlumberger. 2011)

2.4.1 Sistemas De Telemetría

- **Pulso Negativo:** las herramientas MWD de Schlumberger D&M no usan pulsos negativos para enviar la data a la superficie. Sin embargo es importante entender como este método trabaja.

El pulso negativo se usa para proporcionar los servicios de MWD / LWD. El diseño simple del pulsador emplea solamente una única parte movable en una válvula de puerta / asiento corredizo (Figura 2.3).

Esta válvula da salida al fluido momentáneamente desde el borde de la sarta de perforación al anular, creando una caída de presión que se propaga hasta la

superficie (pulso negativo). La energía necesaria proviene de baterías (de litio por lo general) que hacen posible el funcionamiento de la válvula y además pueden proporcionar energía a los sensores de registro.

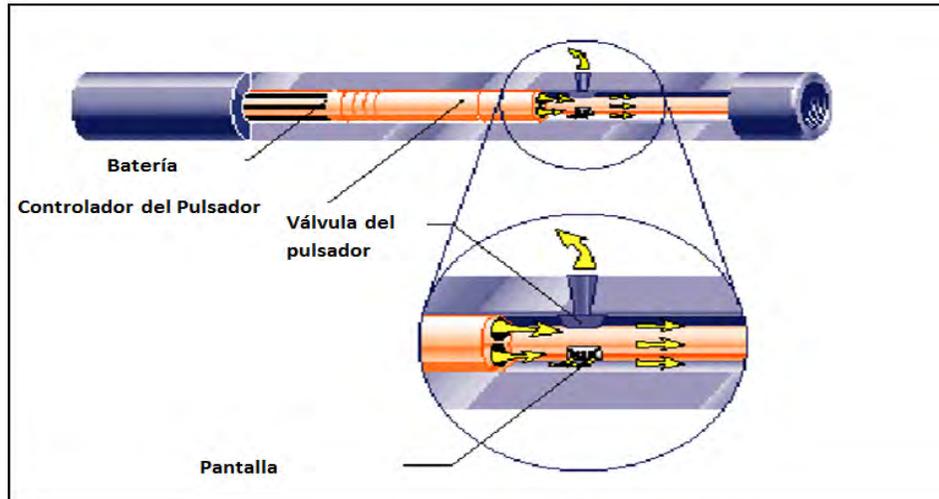


Figura 2.3. Diagrama esquemático del Pulso Negativo
(Fuente: Manual MWD Telemetría de Schlumberger. 2011)

- **Pulso Positivo:** las herramientas MWD de Schlumberger D&M no usan pulsos positivos para enviar la data a la superficie. Sin embargo es importante entender como este método trabaja

Los pulsadores del sistema Pulso Positivo son impulsados por una turbina de lodo. El rotor de la turbina se acopla magnéticamente a un eje conductor interno. El eje conductor actúa tanto como un generador eléctrico (el alternador) como una bomba hidráulica. El generador proporciona energía eléctrica para ambos; el control de circuitos del pulsador y los sensores, mientras la bomba hidráulica suministra energía para el solenoide hidráulico que activa la válvula para inducir un pulso de presión (Figura 2.4).

Para transmitir los datos, una válvula cónica ubicada en la parte superior de la herramienta está extendida en un orificio de flujo que se encuentra por encima de ella, restringiendo el flujo de lodo a través de él, creando un momentáneo incremento de presión que se propaga hacia arriba por el borde de la sarta de perforación como un pulso de presión positivo. Cuando la válvula cónica se retracta, el área de flujo aumenta y la presión se vuelve normal, ya que el canal de flujo se reestablece permitiendo el paso normal de lodo a través del orificio de flujo.

Los valores de los datos se ponen en código así como cada extensión o retracción de la válvula, que representa un bit binario.

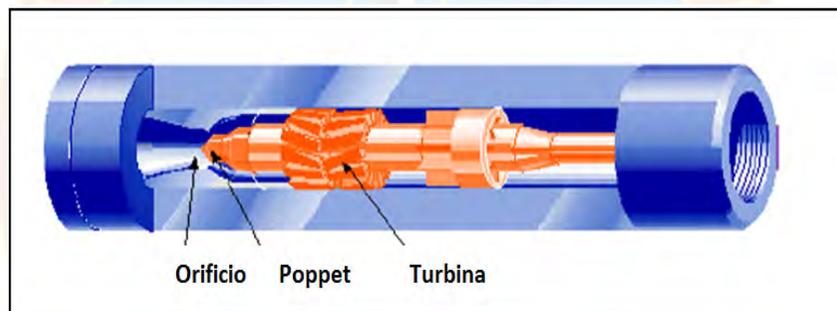


Figura 2.4. Diagrama esquemático del Pulso Positivo.

(Fuente: Manual MWD Telemetría de Schlumberger. 2011)

- **Sistema Electromagnético:** Este sistema permite la transmisión de los datos sin una columna de fluido continua, proporcionando una alternativa a los sistemas del pulso negativos y positivos. Su uso ayuda a hacer perforaciones bajo-balance, una técnica más rentable, especialmente cuando se perfora con fluidos aireados o de perforación gasificados, en los cuales los sistemas telemétricos de pulso de lodo convencionales no funcionan.

Para transmitir los datos a la superficie, el transmisor de fondo genera una diferencia de voltaje alterna a través de la abertura de alta resistencia en la antena.

Este voltaje induce una onda electromagnética que viaja a través de la formación hasta la superficie, guiada a lo largo de una sarta de perforación eléctricamente conductiva.

En la superficie, la onda electromagnética se recibe como una diferencia de potencial de voltaje entre la sarta conductiva y un electrodo conectado a tierra. El voltaje de la sarta es medido en el BOP (válvula impiderreventones), y el electrodo conectado a tierra puede ser una estaca puesta en la tierra a unos cientos de pies lejos o en la boca de un pozo cercano revestido.

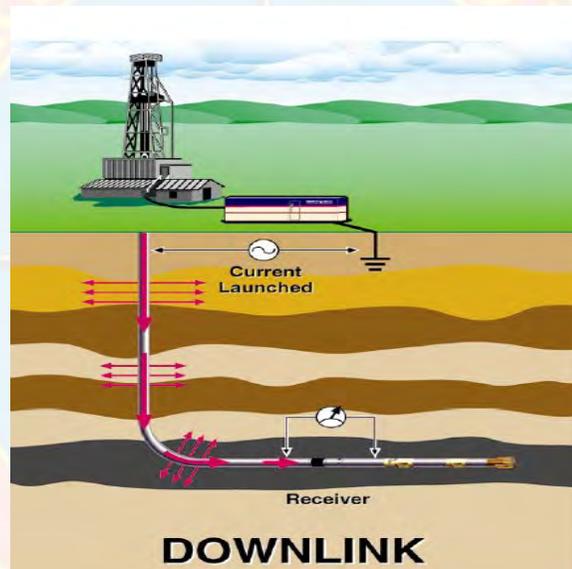


Figura 2.5. Diagrama de funcionamiento de Transmisión Electromagnética
(Fuente: Manual MWD Telemetría de Schlumberger. 2011)

- **Pulso de ondas continuas (método sirena):**

Muchas de las herramientas MWD de Schlumberger D&M (tales como: Telescope, Powerpulse, Impulse y Slimpulse) usan pulso de ondas continuas para

transmitir la data a la superficie. Este tipo de pulso representa un tipo de pulso positivo.

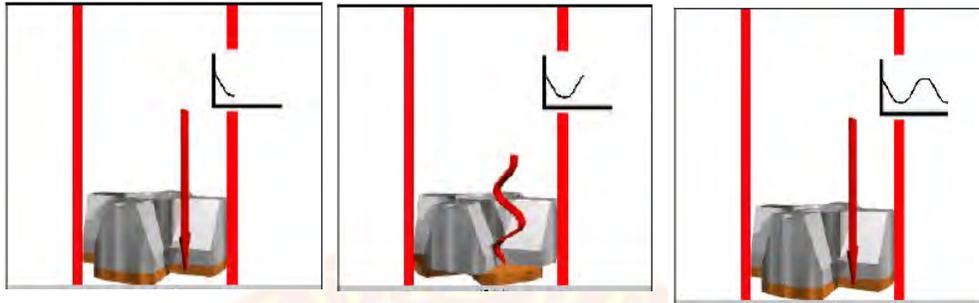


Figura 2.6 Pulso de ondas Continuas.

(Fuente: Manual MWD Telemetría de Schlumberger. 2011)

Las ondas son generadas en la columna de lodo por un continuo bloqueo y desbloqueo del flujo de lodo a través de la sarta de perforación. Cuando el lodo es bloqueado, la presión del lodo dentro de la sarta se incrementa; cuando el lodo se desbloquea, la presión retorna a su estado original.

Para el servicio de MWD Petromiranda ha solicitado a Schlumberger la herramienta Telescope, el cual usa un modulador para generar una onda continua de pulso positivo. El modulador consiste de un rotor y un estator con cuatro lóbulos cada uno. El rotor es conducido por el modulador, que es accionado por el alternador de la turbina en la herramienta. El flujo de lodo a través de la herramienta energiza la turbina.

Así pues, el rotor abre y cierra parcialmente el espacio entre los lóbulos del estator. Cuando los espacios están abiertos, la presión del lodo es la mínima. Cuando es bloqueado, la presión del lodo es la máxima.

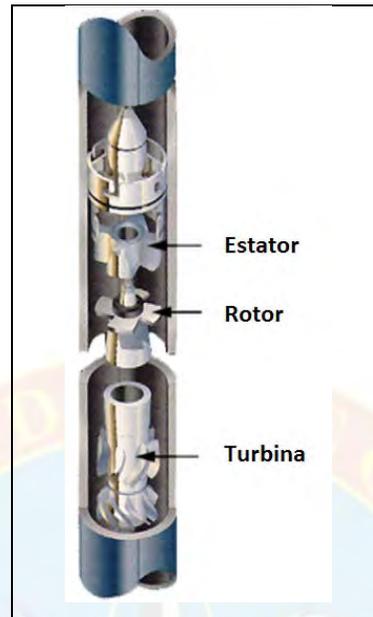


Figura 2.7 Modulador del Telescope

(Fuente: Manual MWD Telemetría de Schlumberger. 2011)

Conjuntamente con el servicio de MWD Schlumberger en su segmento de Perforación y mediciones (D&M, por sus siglas en Ingles) ofrece el servicio de registro mientras se perfora (LWD por sus siglas en inglés). LWD significa tomando mediciones de propiedades petrofísicas de la formación (tales como: saturación de hidrocarburos, litología) alrededor del pozo mientras el pozo es perforado. El cliente usa las mediciones de LWD para evaluar la producción de el reservorio durante y después que la perforación es completada.

Para este servicio Schlumberger se ha enfocado en el desarrollo de diversas herramientas, capaces de proporcionar mediciones de cambio de fase y atenuación (que posteriormente son transformadas en mediciones de resistividad), gamma ray natural, temperatura y presión en el anular. La data es guardada en una memoria y transmitida a través de un puerto de salida de la herramienta (LTB, por sus siglas en inglés) para la herramienta de MWD.

- ARC – ArrayResistivityCompensated
- GVR
- ADN – AzimuthalDensityNeutron
- EcoScope
- StethoScope
- PeriScope
- SonicVISION

Para objetos de estudio la herramienta a estudiar será el ARC y la manera en como realiza la medición de resistividad. El ARC es una herramienta de propagación electromagnética representa una familia de herramientas viene en cinco diferentes diámetros de collares de: 3 1/8", 4 3/4", 6 3/4, 8 1/4" y 9" pulgadas.

La herramienta tiene 5 transmisores y 2 receptores. Estos se utilizan para producir la propagación de las ondas y generar mediciones de resistividad. Los transmisores se denomina T1, T2, T3, T4 y T5 y, en las herramientas ARC6/8/9, se colocan a 16, 22, 28, 34 y 40 en el punto de medición, que es el centro entre el receptor de dos antenas de R1 y R2. Las mediciones de los transmisores adyacentes están virtualmente superpuestas, lo que permite que las mediciones sean compensadas.

2.4.2 Resistividad

La resistividad es la habilidad de un material para resistir el flujo de una corriente eléctrica. La medida de resistividad de una formación (R_t) es uno de los métodos principales de identificación de fluidos en un reservorio. (Richmire, 2011, p. 15).

Además considerando el hecho de que en la formación siempre existirá cierta cantidad de agua es posible mediante la ecuación de Archie determinar la saturación de agua y por tanto la saturación de hidrocarburos presentes en la formación.

$$S_w = \sqrt{\frac{R_w}{\phi^2 \cdot R_t}} \text{Ecuación de Archie} \quad (2.1)$$

Así mismo es posible correlacionar información de múltiples registros con el propósito de obtener información de un pozo a otro pozo y estimar la presión de poro de la formación.

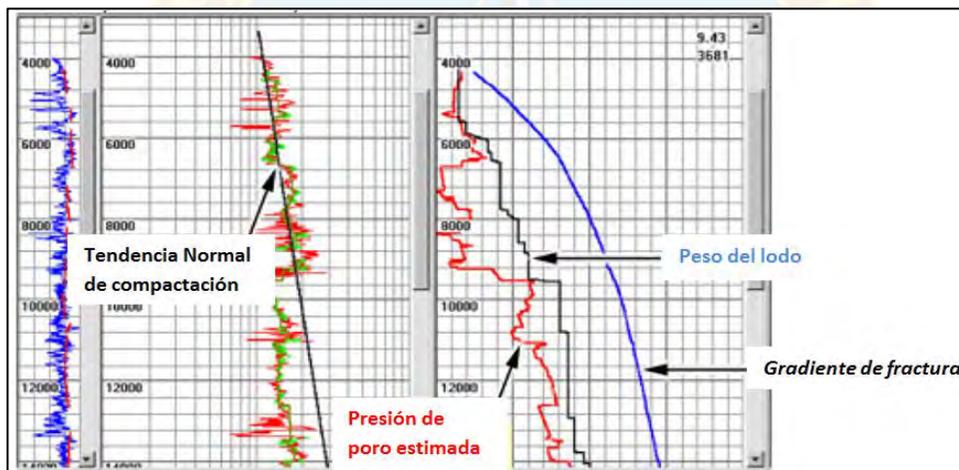


Figura 2.8 Monitoreo de tendencias.

(Fuente: Manual OIL Resistivity de Schlumberger. 2011)

2.4.2.1 Medición de resistividad

El ARC (ArrayResistivityCompensated) es una herramienta de propagación electromagnética. La herramienta mide las resistividades de la formación a múltiple profundidades de investigación usando antenas con un arreglo de 5 transmisores (T1, T2, T3, T4 y T5) y 2 receptores (R1 y R2). Los dos receptores están separadas a 6

pulgadas de distancia. Tres transmisores son colocados a 16, 28 y 40 pulgadas por encima del punto medio entre los receptores. Dos transmisores son colocados a 22 y 34 pulgadas por debajo del punto medio entre los receptores (Figura 2.9).

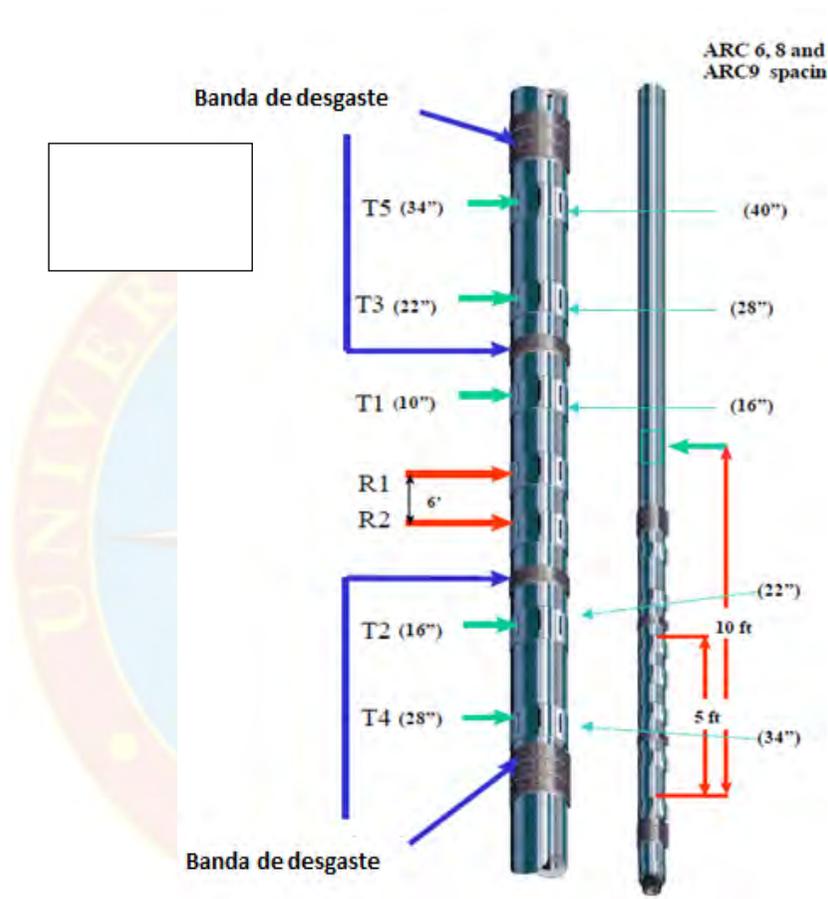


Figura 2.9 Array Resistivity Compensated (ARC)

(Fuente: Manual de la herramienta-SugarLandlearning center ARC. 2001)

Cada transmisor envía una onda electromagnética de 400 KHz y 2 MHz. Como la onda viaja a través de la formación, esta es atenuada en amplitud y retrasada en fase, como resultado de las características de la formación y de los fluidos contenidos en la misma. La herramienta mide el cambio de fase y la atenuación entre los dos receptores; los cuales son funcionalmente dependientes de la resistividad

eléctrica y la constante dieléctrica de las formaciones circundantes a la herramienta. Dos resistividades aparentes de formación, R_{ps} y R_{ad} , son computadas de la medición de cambio de fase y atenuación, respectivamente, para cada transmisor y espaciamento de frecuencia. (Richmire, 2011, p. 79).

Resultando un total de 10 curvas de resistividad por frecuencia de las cuales 5 serán mediciones de resistividad por atenuación y 5 mediciones de resistividad por cambio de fase, cada curva se denota de la siguiente manera:

Espaciamento del transmisor que genero la onda (16, 22, 28, 34, 40)

X **00** **X** Frecuencia, H y L (High y low frequency) para 2 MHz y 400 KHz respectivamente

Representa cambio de fase (P, por sus siglas en inglés) o Atenuación (A)

Por ejemplo: P28H: Indica que se trata de una curva de resistividad obtenida por cambio de fase de la onda generada por un transmisor con espaciamento de 28 pulgadas y una frecuencia alta de 2 MHz (H, por sus siglas en inglés High frequency).

En el caso de: A16L: Indica que se trata de una curva de resistividad obtenida por atenuación de la onda generada por un transmisor con un espaciamento de 16 pulgadas y una frecuencia baja de 400 KHz (L, por sus siglas en inglés Lowfrequency).

La corriente generada en el transmisor crea un campo magnético paralelo a la herramienta. El campo magnético induce un campo eléctrico perpendicular a la

herramienta. El campo eléctrico consiste de bucles de corriente concéntricos a la herramienta, como muestra la fig 2.10.

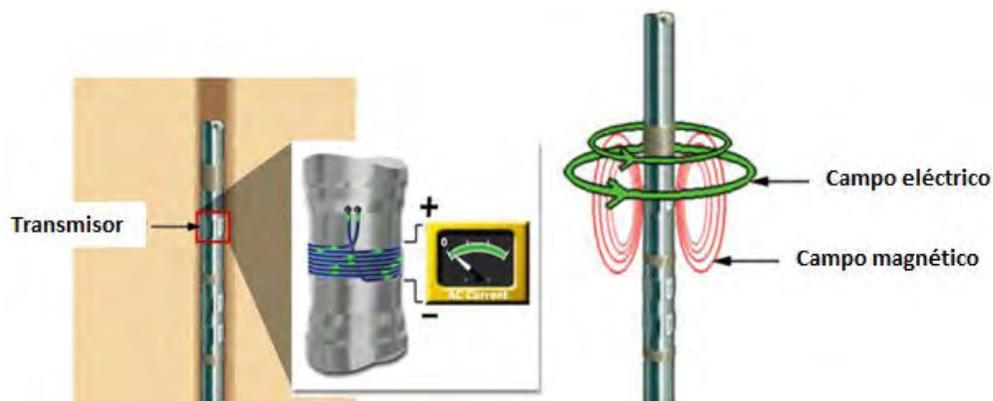


Figura 2.10 Transmisión de onda electromagnética
(Fuente: Manual Schlumberger: OIL Resistivity)

2.4.3 Medición de la onda electromagnética

Dos receptores son usados para determinar el cambio de fase y la atenuación de la onda. Los dos receptores son similares a los transmisores. La onda electromagnética induce un voltaje en el receptor. Cada receptor mide la fase y amplitud del voltaje. Luego la herramienta calcula el cambio de fase y la atenuación entre los receptores.

2.4.3.1 Cambio de fase

La herramienta mide la fase absoluta de el voltaje inducido a cada receptor relativo a algún punto arbitrario, pero estable. El punto arbitrario es la fase de la corriente del transmisor. (Richmire, S 2011 p 82, OIL Resistivity)

Posteriormente, la herramienta determina el cambio de fase entre el segundo y el primer receptor.

Considerando la Fig 2.11, el cambio de fase vendrá dado por:

$$P1F2 = 2P12 - 2P11 \text{ (grados)} \quad (2.2)$$



Figura 2.11 Cambio de fase
(Fuente: Manual Resistivity de Schlumberger)

2.4.3.2 Atenuación

La herramienta mide la amplitud del voltaje en cada receptor. El radio de la amplitud en cada receptor es convertido en una atenuación, usando (Richmire, S 2011 p 82-83, OIL Resistivity):

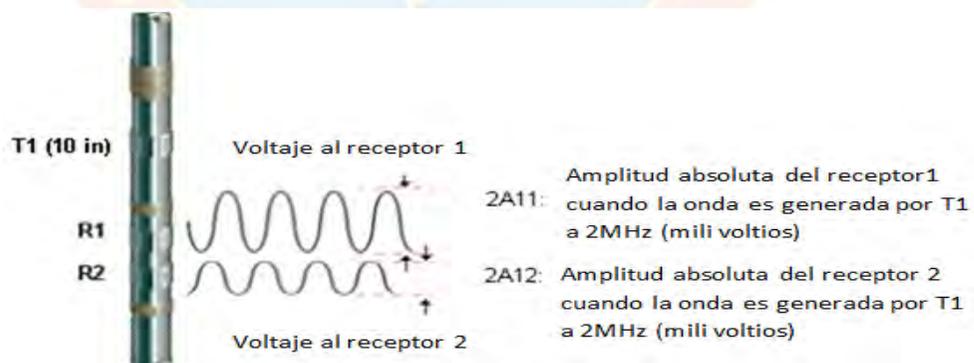


Figura 2.12 Atenuación
(Fuente: Manual Oil Resistivity de Schlumberger)

Para calcular la atenuación, se procede a aplicar las siguientes ecuaciones:

$$2A_{11} - 2A_{12} = \text{Atenuación} \quad (2.3)$$

Posteriormente, se convierte en una relación de potencia aplicando:

$$20 \left(\text{Log}_{10} \left(\frac{A_1}{A_2} \right) \right) (\text{Decibel, dB}) \quad (2.4)$$

2.4.3.3 Transformada de Atenuación y cambio de fase a resistividad

Una vez que la atenuación y el desplazamiento de fase se calculan a partir de los transmisores y receptores, estas mediciones son llevadas a un software que utiliza las gráficas que se muestra en las figuras 2 como transformadas, para convertir las mediciones de atenuación y cambio de fase en resistividad.

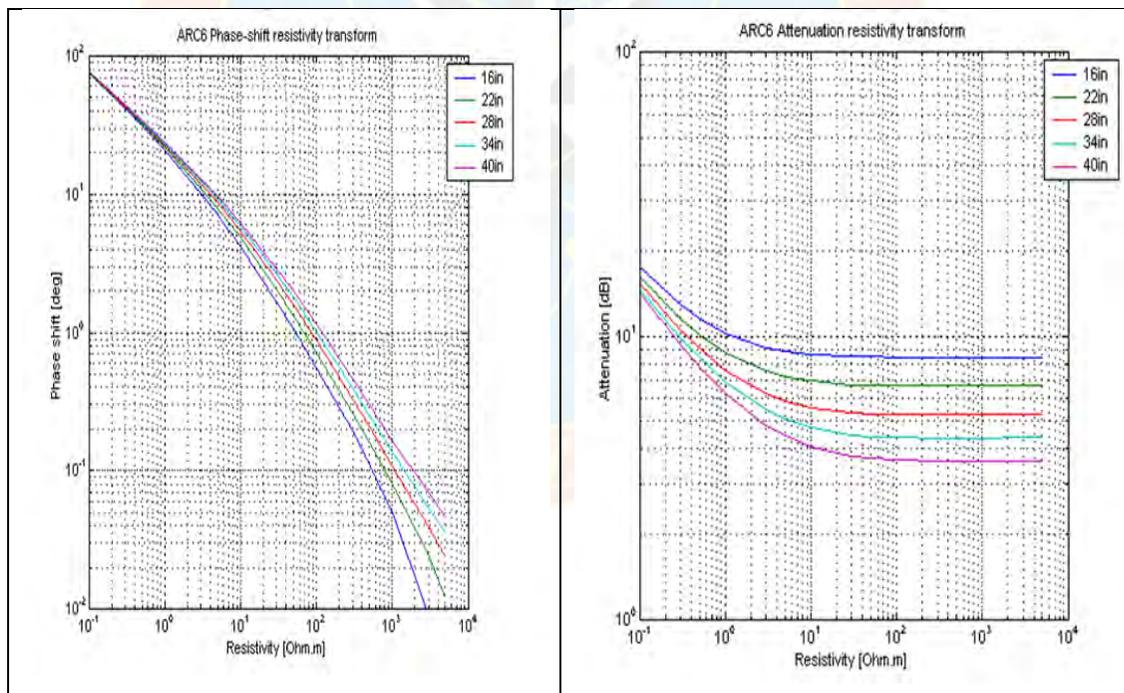


Figura 2.13 Transformadas: Cambio de fase y atenuación a resistividad.

(Fuente: Manual Schlumberger: ARC SelfLearningPackage)

2.5 CONCEPTOS O TERMINOS BASICOS

Amplitud de onda: en un movimiento oscilatorio, ondulatorio o señal electromagnética es una medida de la variación máxima del desplazamiento u otra magnitud física que varía periódica o cuasiperiódicamente en el tiempo. Es la distancia máxima entre el punto más alejado de una onda y el punto de equilibrio o medio.

Campo eléctrico: es un campo físico que es representado mediante un modelo que describe la interacción entre cuerpos y sistemas con propiedades de naturaleza eléctrica.

Campo magnético es una descripción matemática de la influencia magnética de las corrientes eléctricas y de los materiales magnéticos. es producido por cualquier carga eléctrica en movimiento y el momento magnético intrínseco de las partículas elementales asociadas con una propiedad cuántica fundamental, es el spin.

Conductividad eléctrica es la medida de la capacidad de un material que deja pasar la corriente eléctrica, su aptitud para dejar circular libremente las cargas eléctricas.

Frecuencia: es una magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier fenómeno o suceso periódico.

Electromagnetismo: describe los fenómenos físicos macroscópicos en los cuales intervienen cargas eléctricas en reposo y en movimiento, usando para ello campos eléctricos y magnéticos y sus efectos sobre las sustancias sólidas, líquidas y gaseosas.

Formación: unidad litoestratigráfica formal fundamental de rango intermedio, que se encuentra constituida por estratos de rocas sedimentarias, ígneas intrusivas o extrusivas, o rocas metamórficas, o asociaciones de éstas.

Longitud de Onda: es la distancia existente entre dos crestas o valles consecutivos. Es inversamente proporcional a la frecuencia de la onda

Onda: es la radiación de energía que puede transmitir un cuerpo sin desplazarse. Una onda es una señal reconocible que puede ser transferida de un lugar a otro de un medio con una velocidad de propagación reconocible.

Ondas electromagnéticas: se deben fundamentalmente a vibraciones de campos eléctricos y magnéticos. Una onda electromagnética por definición es un tipo de radiación en forma de onda que se caracteriza por poseer dos campos: Un campo eléctrico y otro campo magnético, oscilando perpendicularmente entre sí.

Petrofísica: es la especialidad de caracterizar las propiedades físicas de la roca mediante la integración del entorno geológico, perfiles de pozos, análisis de muestras de roca y sus fluidos e historias de producción.

Permitividad dieléctrica: (o impropriamente *constante dieléctrica*) es una constante física que describe cómo un campo eléctrico afecta y es afectado por un medio. La permitividad del vacío ϵ_0 es $8,8541878176 \times 10^{-12}$ F/m

Permeabilidad magnética: es la capacidad de una sustancia o medio para atraer y hacer pasar a través de ella campos magnéticos, la cual está dada por la relación entre la inducción magnética existente y la intensidad de campo magnético que aparece en el interior de dicho material.



CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación utilizada fue de carácter descriptivo, debido a que reflejó la situación estudiada tal como existe en la realidad. Según Arias ¹ (2006) la señala como: “La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento” (p.24). El desarrollo de la misma se basó en la evaluación, análisis e interpretación del comportamiento de las curvas de resistividad generadas por el ARC (ArrayResistivityCompensated) en el campo Zuata principal, bloque Junín 6.

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación fue documental, debido a que las variables en estudio no se manipularon y se obtuvieron de segunda mano, esto quiere decir que los fenómenos y datos se analizaron tal y como ocurrieron en la realidad.

En este sentido, en el presente trabajo se recopiló información de diferentes tipos de documentos impresos provenientes de operaciones realizadas en los pozos seleccionados. Arias refiere al respecto: “La investigación documental se basa en la obtención y análisis de datos provenientes de material impreso u otros tipos de documentos.” (1999: p.47).

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

“La población es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación.” (Arias, 2006 p.81).

La población que se abordó en esta investigación, estuvo conformada por todos los pozos perforados por Schlumberger en el campo principal de Zuata- Bloque Junín 6 (PZ1-00-SE, PZ1-00-NE, PZ1-00-NO, PZ1-00-SO, PZ2-00SL1, PZ2-00SL2, PZ2-00SL3, PZ2-00SL4)

“La muestra es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible.” (Arias, 2006 p.83).

En esta investigación no fue necesario extraer una muestra representativa, debido a que el número de unidades o elementos que representaba la población fue un valor accesible en su totalidad, logrando realizar dicha investigación sobre toda la población objetivo.

En conclusión, tanto la población como la muestra estuvieron conformadas por el mismo número de elementos representativos, los pozos mencionados anteriormente.

3.4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

Con el propósito de llevar a cabo el análisis y estudio de las curvas de resistividad generadas por el ARC durante la perforación de los pozos PZ1-00-SE, PZ1-00-NE, PZ1-00-NO, PZ1-00-SO, PZ2-00SL1, PZ2-00SL2, PZ2-00SL3, PZ2-

00SL4 a continuación se presentará y explicará la metodología aplicada en la investigación.

3.4.1 Describir las formaciones de la columna estratigráfica del campo Zuata principal perteneciente al bloque Junín 6

Para el cumplimiento de esta primera etapa se ejecutó la recopilación de toda la información disponible del área de estudio en el Centro de ingenieros de perforación de la empresa (DEC, por sus siglas en inglés). Posteriormente, se realizaron visitas al campo Zuata, donde fueron perforados los pozos, allí se llevaron a cabo entrevistas no estructuradas a los geólogos de la zona. Adicionalmente se solicitó toda la data geológica, sedimentológica y de formación disponible, con el propósito de recopilar la información necesaria y de esa manera se llevó a cabo la descripción de toda la columna en cuanto a espesor, saturaciones de fluidos, porosidad, permeabilidad, entre otras. Con enfoque especial en la o las zonas prospectivas.

3.4.2 Estudiar el comportamiento de las curvas de resistividad generadas por el ARC en la zona objetivo

Para el desarrollo de esta etapa resultó de vital importancia el conocimiento de la herramienta, aspectos como el principio de funcionamiento, las partes por las que está constituida, limitaciones en cuanto a uso, ventajas de usar dicha herramienta, representaron factores fundamentales al momento de estudiar el comportamiento de las curvas generadas por la misma, para ello se consultaron los manuales técnicos de operación y descripción del ARC. Además de ello, se llevaron a cabo entrevistas a personal con experiencia en el área, esto con el propósito de recopilar toda la información necesaria.

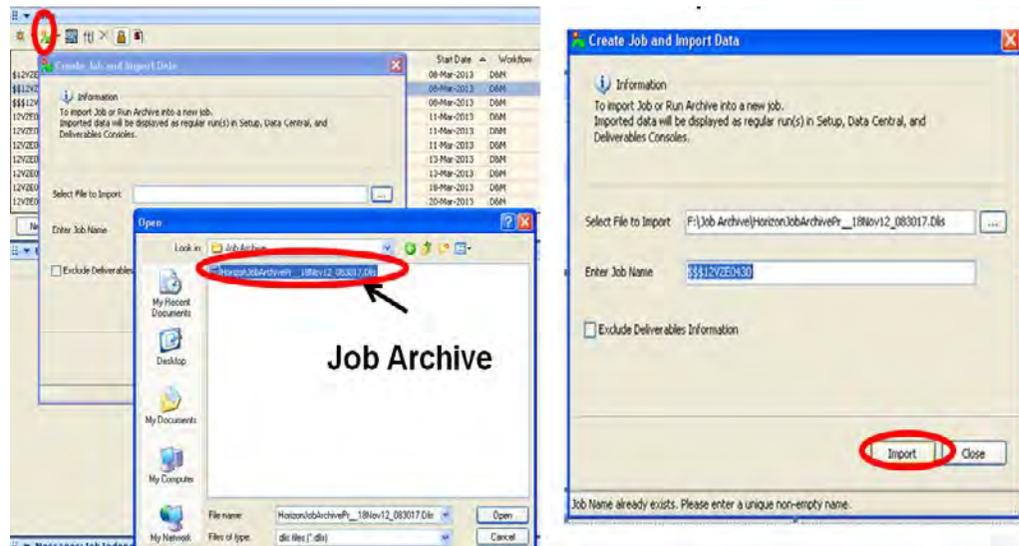
Una vez analizada y evaluada toda la información recopilada y delimitada el área en donde se realizó el estudio, se procedió al análisis y estudio de la data de los pozos y la revisión de los registros generados por la herramienta en cada una de las corridas, obtenidas en la perforación de los pozos. Iniciando con el análisis de las curvas de resistividad obtenidas por atenuación de la onda.

3.4.3 Determinar las curvas de resistividad que mejor cotejen las condiciones de los fluidos presentes en la formación del campo Junín, perteneciente al bloque Junín 6

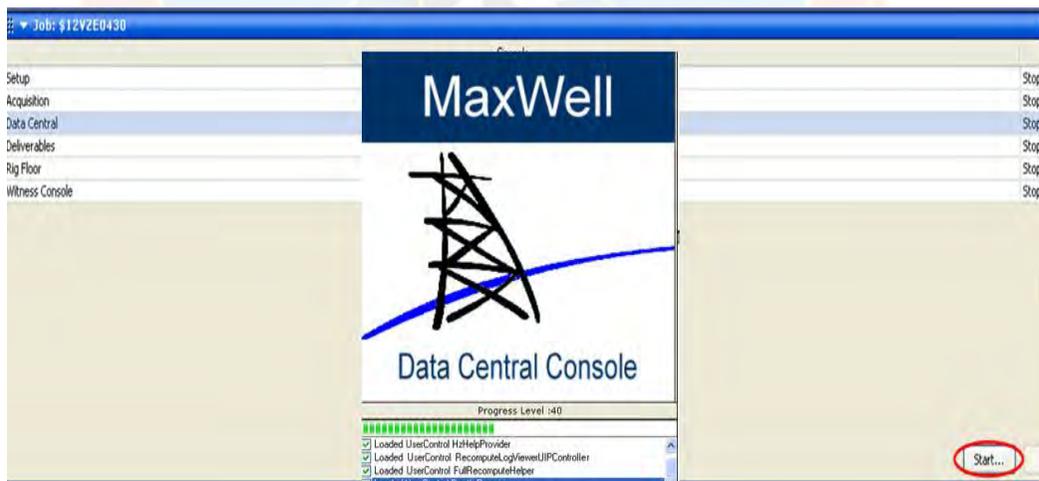
Una vez estudiado el comportamiento de cada grupo de curvas por separado, en esta etapa se procedió a comparar las curvas de resistividad generadas por el ARC que basado en el estudio anterior arrojaron el mejor comportamiento en cada una de las corridas realizadas en el campo Zuata principal-bloque Junín 6.

De ese modo sustentada en toda las bases teóricas y aplicando los conocimientos adquiridos, se procedió a seleccionar las curvas que cotejen las condiciones de los fluidos presentes en la formación. Para llevar a cabo esta selección, se hizo uso de una herramienta de interpretación conocida como ARCWizard, este es un software que forma parte de Maxwell, es conocido como un “Producto de respuesta”. Para ello fue necesario, activarlo:

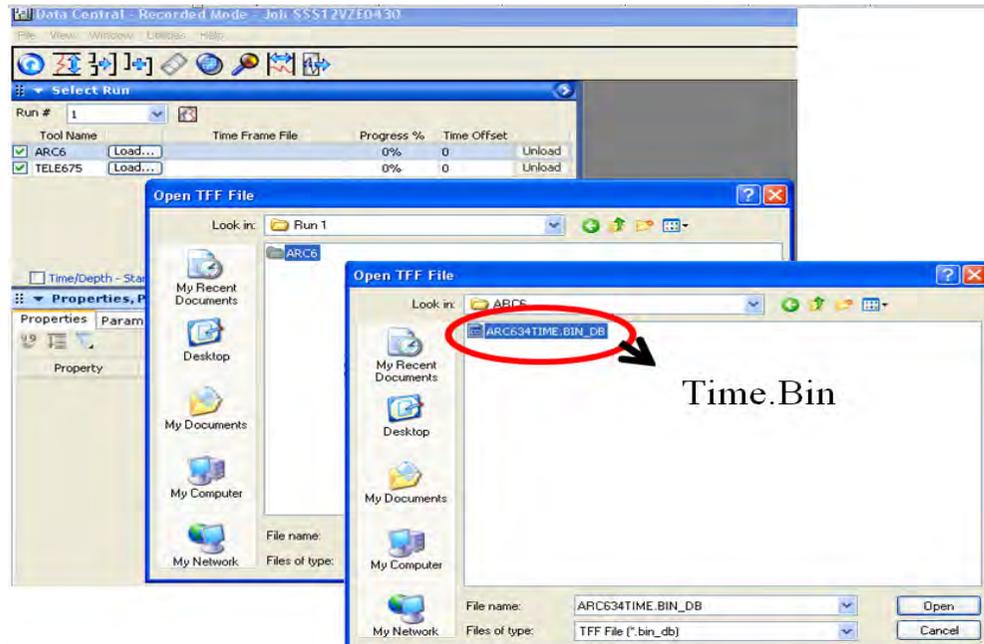
- Primeramente se **procesó la data** usando Maxwell, posteriormente se procedió a importar cada uno de los trabajos, esto es la data generada durante la perforación de cada uno de los pozos (Job archive, en inglés).



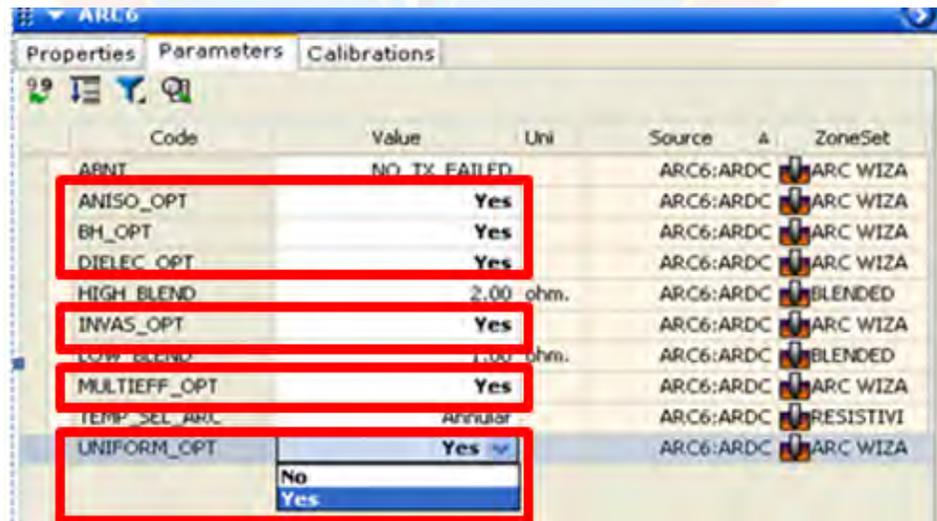
- Una vez que el trabajo fue importado, se inició la corrida en la consola de y se procedió a abrir la consola de “Data Central”



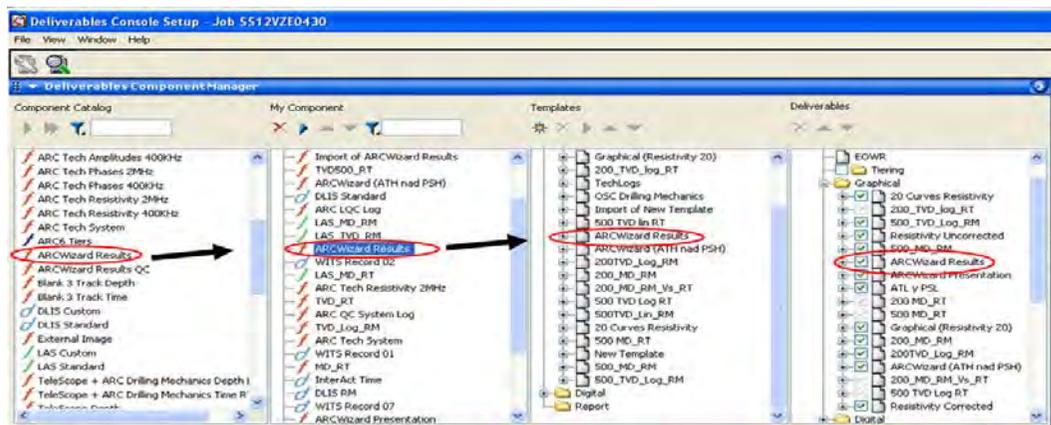
- Una vez en Data Central se seleccionó el número de la corrida y finalmente se seleccionó el “ARCTime.Bin” en donde se almacena toda la información obtenida con el ARC durante la perforación de cada uno de los pozos, representa la data del pozo.



- Posteriormente, en la opción de “Parameters” se seleccionaron todos los efectos (anisotropía, efecto dieléctrico, invasion...) que pueden existir en el pozo



- Finalmente, en la consola de “Deliverables” se seleccionó el template para ARCWizard y se obteniéndose así los registros para cada uno de los pozos.



3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1 Técnica de recolección de datos

“Se entenderá por técnica, el procedimiento o forma particular de obtener datos o información”. (Arias, 2006 p.6).

Entre las técnicas que se emplearon para la recolección de información en esta investigación, se tienen:

Revisión y recopilación de información técnica. Primeramente se llevó a cabo la selección y revisión de bibliografías, o consultas a diferentes textos, manuales, conceptos e información técnica relacionada con el tema en estudio. Hernandez, Fernandez y Baptista (2006) refieren:

Una vez identificadas las fuentes primarias pertinentes, es necesario localizarlas en las bibliotecas físicas, hemerotecas, videotecas u otros lugares donde se encuentren (incluidos los sitios en internet). (p. 71).

Entrevistas no estructuradas: Durante esta investigación se efectuaron consultas o entrevistas no estructuradas con el personal del Departamento de Perforación de Schlumberger, ingenieros de campo, técnicos, personal de mantenimiento, entre otros, además se trabajó en conjunto con el departamento de soporte de perforación de la empresa (DCS), geólogos del campo Junín y profesores de la Universidad De Oriente Núcleo Monagas, los cuales proporcionaron los conocimientos y técnicas adecuadas para el desarrollo óptimo de esta investigación.

Para Arias (2012), una entrevista no estructurada o informal es:

Aquella en la cual no se dispone de una guía de preguntas elaboradas previamente. Sin embargo, se orienta por unos objetivos preestablecidos que permiten definir el tema de la entrevista, de allí que el entrevistador deba poseer una gran habilidad para formular las interrogantes sin perder la coherencia. (p. 73)

3.5.1 Herramientas

Dentro de los instrumentos utilizados para la recolección y desarrollo de la investigación, están:

Material bibliográfico: Materialespecializado en la tecnología de LWD, relacionado con el principio de funcionamiento del ARC y de registros de pozos: textos, manuales, trabajos científicos, etc.

Maxwell: Es un software de adquisición de Schlumberger. En cual se genera toda la data enviada desde el fondo del pozo. Y que represento el medio a partir del cual se recopiló la data de los pozos a ser utilizada.

ARCWizard: Es un software que forma parte de Maxwell, es conocido como un “Producto de respuesta”. Es un producto que forma parte de la familia ARC, se crea con el propósito de permitir la interpretación exhaustiva de las mediciones de resistividad. Desarrollado por el segmento de Data y consultoría de Schlumberger (DCS, por sus siglas en ingles).



CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 DESCRIBIR LAS FORMACIONES DE LA COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DEL CAMPO ZUATA PRINCIPAL PERTENECIENTE AL BLOQUE JUNÍN 6

La columna estratigráfica regional del campo Zuata principal, bloque Junín 6 (Figura 4.1).

| Edad | Formaciones | Litología | Descripción Litológica |
|------------|-------------|-------------|--|
| Cenozoico | Pleistoceno | Mesa | Conglomerado y arcillas |
| | Plioceno | Las Piedras | Arena y areniscas con alternancia de arcillas y lignitos. |
| | Mioceno | Oficina | Arenas y areniscas con alternancias de lutitas y abundancia de lignitos de poco espesor. |
| | Oligoceno | Merecure | Areniscas Masivas intercaladas con capas de lutitas |
| Mesozoico | Cretácico | Tigre | Areniscas con intercalaciones de Lutitas Marinas. |
| | | Canoa | Conglomerados de grano fino, areniscas, limolitas y arcilitas |
| Paleozoico | Cámbrico | Carrizal | Secuencia de arcilitas, con algunas capas de limolita y areniscas |

Figura 4.1 Ejemplo de la columna estratigráfica

Fuente: Propia.

La columna estratigráfica del campo Zuata principal, bloque Junín 6 (Figura 4.1) se inicia con unidades litoestratigráficas del Paleozoico, representada por la formación Carrizal cuyo límite de extensión areal está dentro del bloque Junín 6, continúan en orden ascendente las formaciones Tigre y Canoa del Cretácico, erosionadas hacia la parte norte del Bloque Junín 6. Luego con aumento de espesor hacia el oeste suprayace discordantemente la Formación Merecure del Oligoceno. Sobre esta unidad descansa concordantemente la Formación Oficina del Mioceno Temprano- Medio.

La base de datos utilizada para la realización del modelo geológico dentro del Bloque Junín 6 está en función de la interpretación de la geología estructural del área, la cual está apoyada en la interpretación de datos sísmicos 2D. La mencionada estructura está fundamentada en la interpretación y pruebas realizadas en ocho (08) pozos perforados hasta el presente en dicho bloque. A continuación un breve resumen de la estratigrafía del área de estudio.

Basamento Igneo- Metamórfico.

El basamento es ígneo metamórfico de edad Proterozoico. Estudios petrográficos determinan que en este basamento se observan anfibolitas de afinidad máfica, granitos potásicos intrusivos de afinidad intermedia (metatobas), rocas graníticas epi-mesozonales, porfídicas y pertíticas, caracterizado por granitos potásicos, orogénicos, anatéxicos y peralumínicos, con presencia de biotita y desarrollo de moscovita.

Formación Carrizal

La Formación Carrizal típicamente está compuesta de lutitas de color gris claro a marrón, ligeramente glauconítica, con pequeñas intercalaciones de areniscas. De

edad Cámbrico Temprano parte más tardía y está suprayacente a la Formación Hato Viejo. Por lo que es una unidad claramente diferenciable en registros eléctricos en base a la respuesta de las curvas de rayos gamma (GR) y potencial espontáneo, típica de sedimentos lutíticos.

La presencia de sedimentos de edad Paleozoica, son representados en su mayoría por la Formación Carrizal.

Grupo Temblador

El Grupo Temblador de edad Cretácico, se encuentra discordante sobre la Formación Carrizal. Fue dividido en dos Formaciones Tigre y Canoa.

En el Bloque 6 del área Junín la sección cretácica es prácticamente inexistente y está limitada solo a una pequeña porción de la parte norte del bloque.

Formación Canoa

Se caracteriza por lutitas moteadas de color rojizo intercaladas a su vez con areniscas arcillosas. En el registro de GR, se puede reconocer con un incremento considerable en la lectura. Además, del incremento en los registros espectrales con respecto a las relaciones Uranio/Potasio (U/K) y Torio/Potasio (Th/K).

Formación Tigre

Está constituida por una sección arenosa de grano medio a grueso, con intercalaciones de lutitas de color blanco a gris claro, debido a su alto contenido de caolinita. Esta formación se encuentra presente en la parte norte del Área Junín.

Formación Merecure

La Formación Merecure descansa discordantemente sobre los sedimentos de la Formación Tigre y la Formación Canoa según sea el caso en el área Junín.

Para Campos et al., (1985) esta unidad se caracteriza por el predominio de areniscas masivas, con algunas intercalaciones de capas delgadas de lutitas y lignitos que son más abundantes en la parte superior.

Formación Oficina

Está presente en toda el Área Junín y la secuencia más prospectiva se encuentra en el Miembro inferior, de edad Mioceno Temprano. Se caracteriza por presentar una sección inferior arenosa y una superior lutítica con abundantes capas de lignitos intercalados, que ocasionalmente muestran evidencia de bioturbación. La sección inferior se caracteriza por presentar abundantes paquetes de arenas masivas que varían de grano fino a grueso y por rápidos cambios de facies. Igualmente, estos intervalos arenosos se van truncando hacia el sur contra la sección subyacente (Oligoceno, Cretáceo y Paleozoico).

Formación Freites

Suprayace concordante sobre la Formación Oficina. En el Área Junín no se ha reconocido la existencia de sedimentos de esta formación, los cuales, corresponden a una edad de Mioceno Superior en otras áreas de la Faja Petrolífera del Orinoco. Se caracteriza por una secuencia de lutitas de color verdoso de ambiente marino somero y hacia su base suele presentar un intervalo rico en restos de conchas que en algunos

casos permite delimitar el contacto Freites-Oficina según el informe de la Faja Petrolífera del Orinoco (FPO) de 1984.

Formaciones las Piedras y Mesa

Representan el tope de la columna sedimentaria presente en la Faja Petrolífera del Orinoco (FPO). Su edad está definida como Plioceno - Pleistoceno y las mismas no se han podido diferenciar entre sí por lo complejo de su correlación interna. Es por esta razón que dichos intervalos de roca se han manejado como una sola unidad sedimentaria. Se caracteriza por presentar una litología bastante homogénea, consistiendo principalmente en gruesos paquetes de arenas de grano grueso y gravas con cemento ferruginoso intercaladas con limolitas carbonosas y lutitas.

4.1.1 Correlaciones y Secciones

Para el proceso de cuantificación y certificación de reservas, basados en estudios bioestratigraficos se establecieron los siguientes topes estructurales:

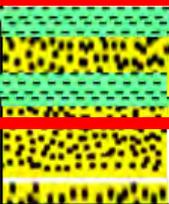
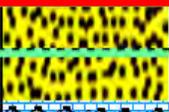
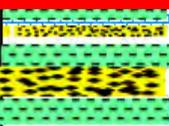
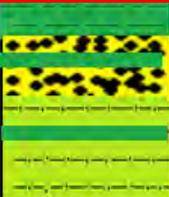
El tope de la discordancia del Cambrico

El tope de la discordancia del Cretácico

El tope del Oligoceno.

El tope del Mioceno Mioceno medio Inferior

El tope del Mioceno Medio

| Edad | | Formaciones | Litología | Descripción Litológica |
|------------|-------------|-------------|--|--|
| Cenozoico | Pleistoceno | Mesa |  | Conglomerado y arcillas |
| | Plioceno | Las Piedras |  | Arena y areniscas con alternancia de arcillas y lignitos. |
| | Mioceno | Oficina |  | Arenas y areniscas con alternancias de lutitas y abundancia de lignitos de poco espesor. |
| | Oligoceno | Merecure |  | Areniscas Masivas intercaladas con capas de lutitas |
| Mesozoico | Cretácico | Tigre |  | Areniscas con intercalaciones de Lutitas Marinas. |
| | | Canoa |  | Conglomerados de grano fino, areniscas, limolitas y arcilias |
| Paleozoico | Cámbrico | Carrizal |  | Secuencia de arcilias, con algunas capas de limolita y areniscas |

Los topes anteriormente mencionados se extrapolaron dentro del área de Junín 6 mediante correlaciones estratigráficas y cronoestratigráficas. Se realizaron secciones geológicas estratigráficas en dirección norte-sur (figura 4.2) y este-oeste (figura 4.3) ver apéndice B, así como correlaciones pozo a pozo, correlacionándose los eventos sedimentarios desde la discordancia del Paleozoico hasta en Mioceno Temprano; definiéndose un total de 4 horizontes principales Mioceno Temprano

(Mioceno Temprano Inferior y Mioceno Temprano Superior), arenas basales, discordancia del Oligoceno y discordancia del Paleozoico).

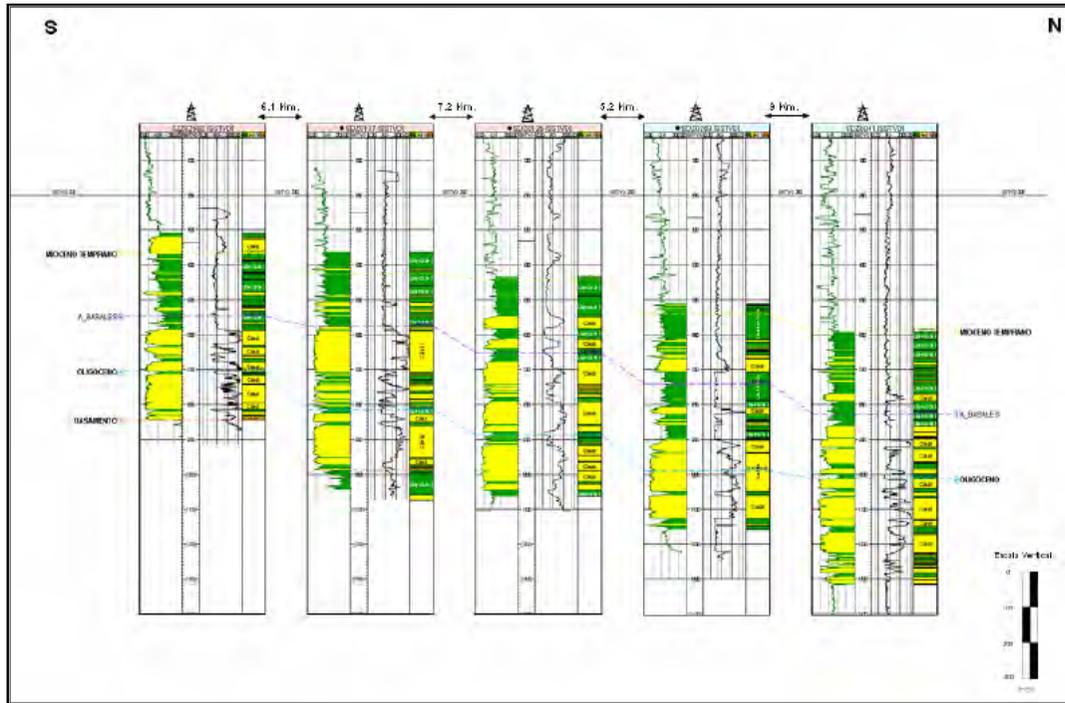


Figura 4.2. Sección Estructural Norte-Sur Junín 6

Fuente: Informe Junín 6 (2009)

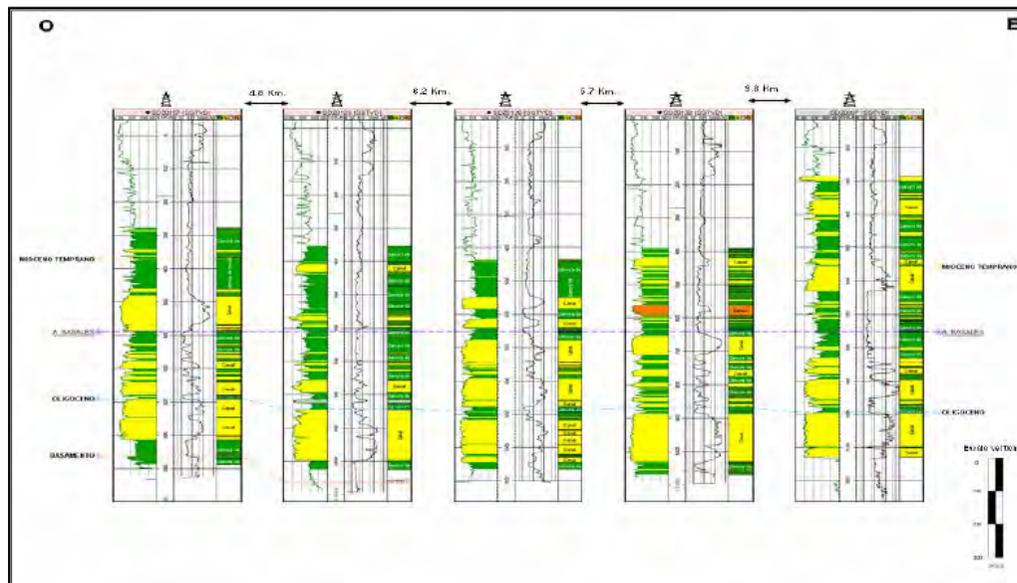


Figura 4.3. Sección Estratigráfica Oeste-Este Junín 6

Fuente: Informe Junín 6 (2009)

En cumplimiento con los lineamientos emitidos por la presidencia de PDVSA, se considera de gran importancia el inicio del plan de producción temprana acelerada, el cual incluye la puesta en producción de dos macollas (PZ1 y PZ2) ubicadas en la zona norte del Bloque Junín 6, la cual según estudios geológicos, dinámicos y de superficie, comprende el área más prospectiva del campo, denominada “Área de Producción Temprana”.

La data de resistividad obtenida en tiempo real durante la perforación de las citadas macollas inicio con un 1 hoyo piloto y 4 pozos tipo “S” para cada una de las macollas, realizada por Schlumberger. Estos dos hoyos piloto (PZ1-00 y PZ2-00) y los 8 pozos tipo “S” (PZ1-00NE, PZ1-00NO, PZ1-00SE, PZ1-00SO, PZ2-00NE, PZ2-00NO, PZ2-00SO, PZ2-00SE) son el objeto de estudio en este proyecto. Ambas macollas tienen como objetivo la explotación del Oligoceno (Formación Merecure), así mismo, al ser los primeros pozos de ambas macollas, se espera también contactar la arena de manera vertical y de esa manera evaluar su espesor.

El análisis de los datos del yacimiento Oligoceno permitió conocer las condiciones actuales del mismo. De dicho análisis se tiene que el yacimiento es un monoclinual suave, con buzamientos de 3 a 4 grados hacia el norte, cortado por tres fallas normales de alto ángulo con buzamientos aparentes hacia el norte (falla azul claro) y hacia el sur (fallas púrpuras y azul oscuro); y presentan continuidad hacia los bloques adyacentes. (Figura N° 4.4)

El yacimiento Oligoceno (perteneciente a la Formación Merecure) está compuesto por más del 50% de areniscas, de color gris claro a oscuro, masivas, mal estratificadas y muy lenticulares, duras, de grano fino a grueso, incluso conglomerática, con estratificación cruzada y una variabilidad infinita de porosidad y permeabilidad; el crecimiento secundario de cuarzo es común. Se separan por láminas e intervalos delgados de lutitas de color gris oscuro a negro, carbonáceas, irregularmente laminadas, algunas arcillitas ferruginosas y ocasionales lignitos. En las figuras 4.2 y 4.3 se pudieron observar las secciones estratigráficas del Bloque Junín 6.

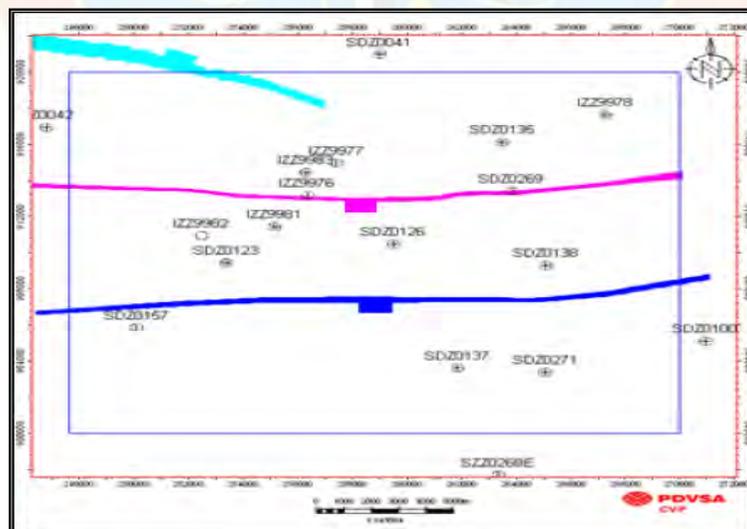


Figura 4.4. Mapa en planta de las fallas presentes en el Bloque Junín 6

Fuente: Informe Junín 6 (2009)

La revisión del modelo sedimentológico hecha a partir de la interpretación de data sísmica 2D proveniente de 8 pozos perforados dentro del área (LDIE0123, LDIE0126, LDIE0135, LDIE0137, LDIE0138, LDIE0157, LDIE0269, LDIE0271), de estudios de núcleos y de información bioestratigráfica, determinó que el ambiente predominante es de tipo fluvial. En el mapa (figura 4.5) de paleoambientes de este yacimiento se pueden observar los ejes de los canales entrelazados (zonas de color naranja), múltiples distributarios apilados (color amarillo) y planicies de inundación (zonas de color verde).

Así mismo, a través de los resultados de la evaluación petrofísica hecha a partir de la información de los pozos perforados dentro del área (anteriormente mencionados) se muestran en la tabla 4.1.

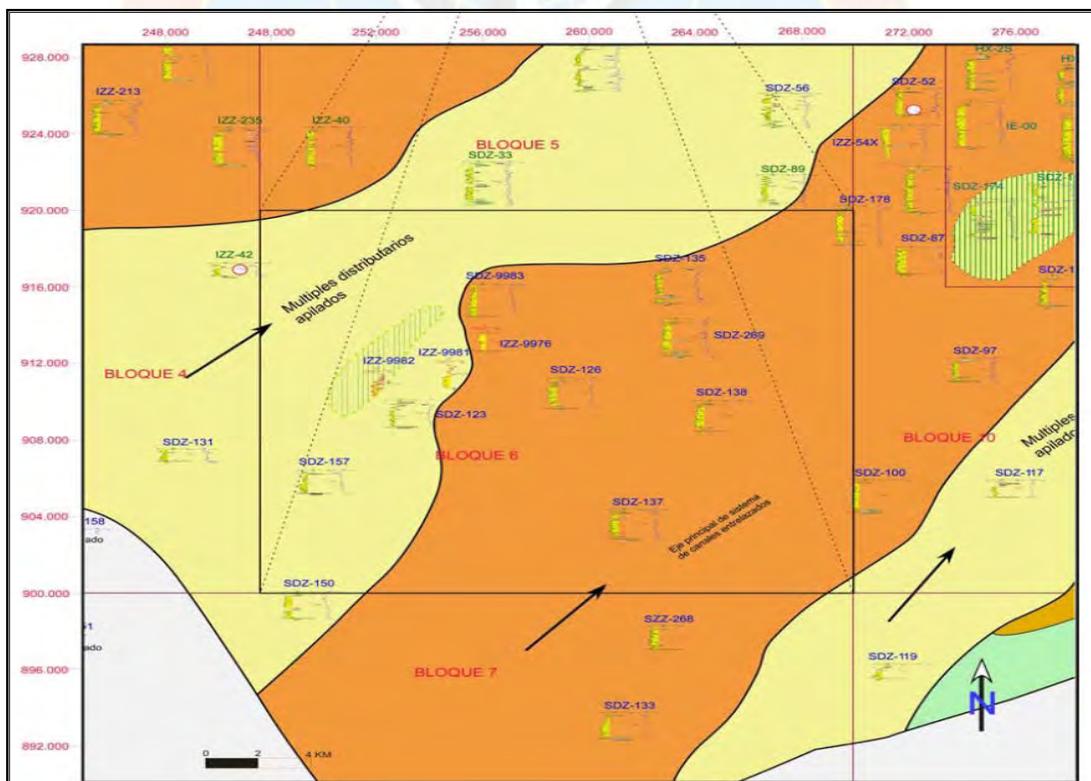


Figura 4.5. Mapa de paleoambientes del yacimiento Oligoceno

Fuente: Informe Junín 6 (2009)

Tabla 4.1. Datos petrofísicos del yacimiento Oligoceno

| Datos Petrofísicos - Yacimiento MER LDIE0002 | |
|---|--------|
| Porosidad (%) | 30 |
| Saturación de agua (%) | 16 |
| Volumen de arcilla (%) | 16 |
| Espesor de arena neta petrolífera (pies) | 132,28 |

En cuanto a los datos de permeabilidad, se estima que dentro de Oligoceno, el rango debería estar entre los 2.000 y 19.000 mD.

4.2 ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS CURVAS DE RESISTIVIDAD GENERADAS POR EL ARC EN LA ZONA OBJETIVO

El estudio de las curvas de resistividad, inicio principalmente con entrevistas no estructuradas al personal de Petromiranda (geólogos, petrofísicos e ingenieros) que llevan a cabo la planificación para el desarrollo y explotación del bloque Junín 6, de esa manera se obtuvo el propósito del cliente con el análisis de las curvas de resistividad obtenidas, sus objetivos envuelven:

- Localización de hidrocarburos, basados en estudios petrofísicos y geológicos existe una profundidad aproximada donde está localizada la arena objetivo, lo que se busca con la medición de resistividad es un refuerzo o apoyo para detectar el punto exacto en el cual se está en presencia de arena con impregnación de petróleo (colocación óptima del pozo) durante la perforación. El cliente ha establecido el siguiente rango de clasificación:

0 ohm.m- 20 Ohm.m → Arena de Mala Calidad.
 20 ohm.m – 400 ohm.m → Arena de mediana Calidad.

Mayor a 400 ohm.m \longrightarrow Arena de buena Calidad.

- Determinar la saturación aproximada de agua mediante la ecuación de archie

$$S_w = \sqrt{\frac{R_w}{\phi^2 R_t}} \quad (4.1)$$

y con ello estimar la saturación de hidrocarburos presente en la formación.

- Determinar la presencia de invasión de fluido de perforación a la formación, estudios geológico llevados a cabo en el campo Zuata, han detectado la existencia de zonas con presiones anormales lo que puede propiciar la invasión de filtrado del fluido de perforación a la formación, es por ello que una de sus mayores requerimientos son curvas que le permitan detectar la presencia de invasión, conocer la resistividad de dicha zona y de ser posible estimar la profundidad de invasión.

Basado en ello se inició el análisis con la data obtenida durante a perforación de cada uno de los Slant, agrupando las curvas, por el cambio de fase y atenuación que sufre la onda generada por cada uno de los transmisores tanto con 400Khz (baja frecuencia) como con 2 MHz (alta frecuencia).

- Las 5 curvas de Atenuación (Attenuation "A") generadas con una alta frecuencia (High frequency "H").
- Las 5 curvas de Atenuación (Attenuation "A") generadas con una baja frecuencia (Lowfrequency "L").
- Las 5 curvas de Cambio de fase (Phaseshift "P") generadas con una alta frecuencia (High frequency "H").
- Las 5 curvas de Cambio de fase (Phaseshift "P") generadas con una baja frecuencia (Lowfrequency "L").

Primeramente para los slant obtenidos a partir del pozo piloto PZ1. Haciendo uso de toda la información geológica proporcionada, para iniciar el análisis de los registros fue necesario registros de identificación de zonas

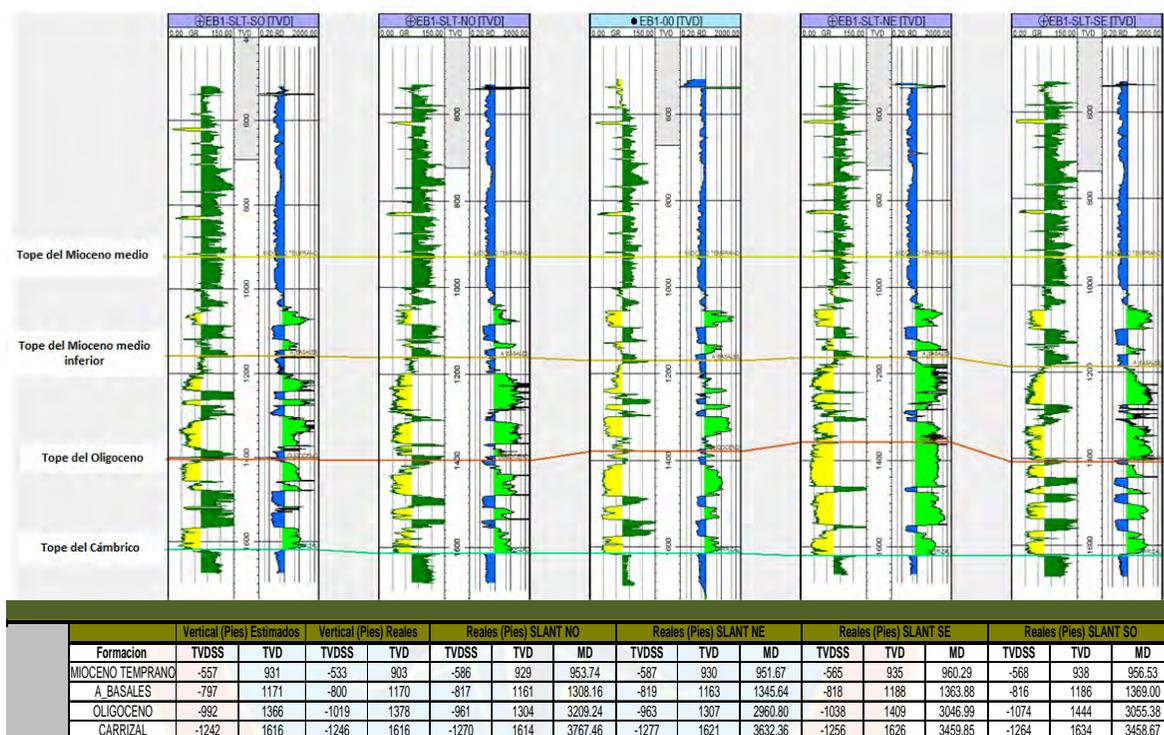


Figura 4.6 Sección estratigráfica del pozo PZ1.

Fuente: Informe final Junín 6, Modelo estratigráfico.

Iniciando el análisis con las curvas de resistividad obtenidas por atenuación de la onda, es posible comparar el comportamiento de la curva tanto para una baja (400KHz) como para una alta (2 MHz) frecuencia:

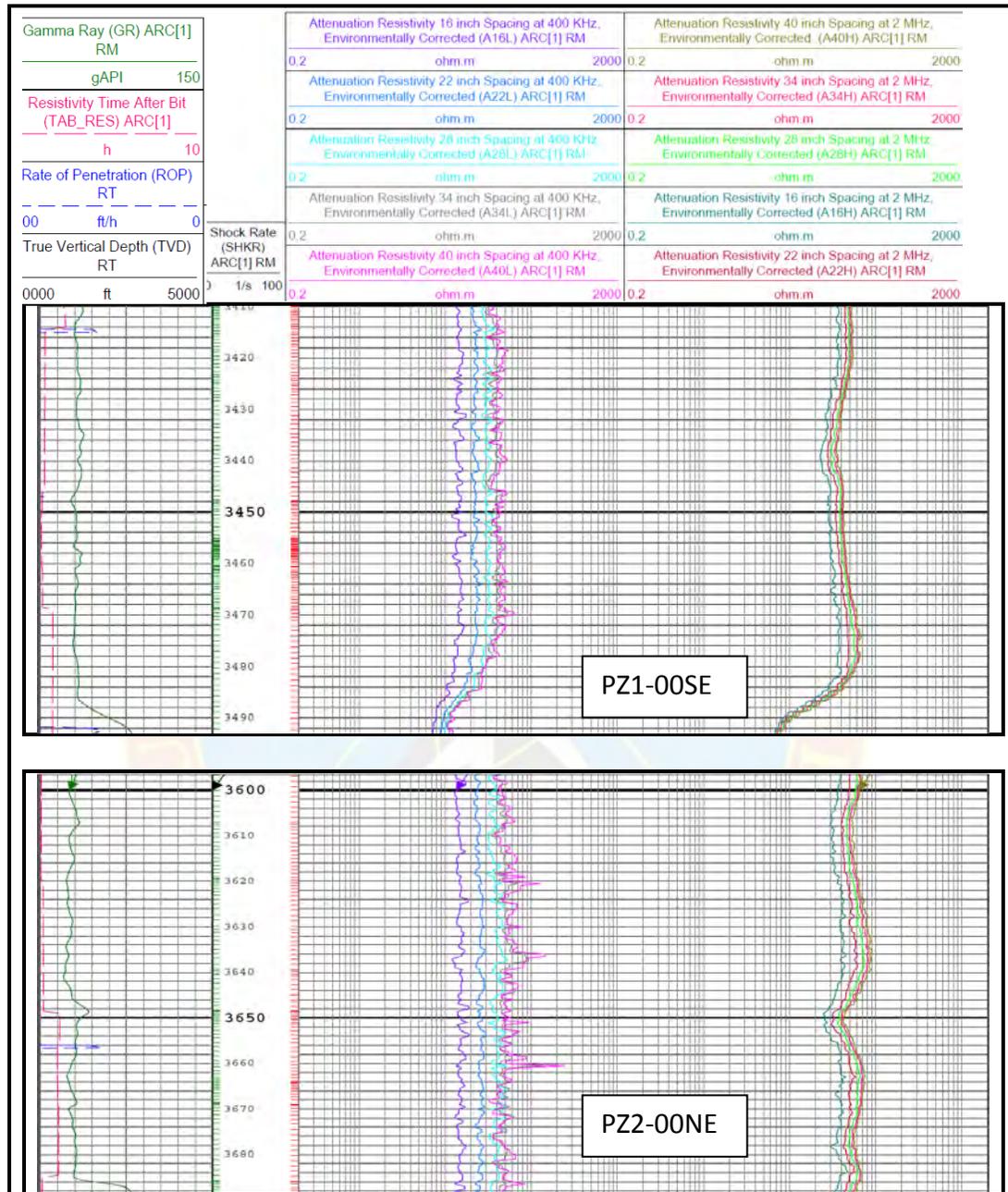


Figura 4.7 Sección de registro, arena productiva (Oligoceno), en distintos pozos.

Fuente: Data de resistividad-PDVSA Petromiranda, pozos PZ2 y PZ1. SLB.

La atenuación es descrita matemáticamente por la ley del cuadrado inverso que describe cómo es que se reduce la densidad de potencia con la distancia a la fuente. El campo electromagnético continuo se dispersa a medida que el frente de onda se aleja de la fuente, lo que hace que las ondas electromagnéticas se alejen cada vez más entre sí, esto implica que las ondas sufren atenuación a una profundidad de investigación mayor, comparada con la profundidad a la que sufren desfase. Por tanto, las mediciones de resistividad obtenidas por atenuación de la onda teóricamente presentarían una profundidad de investigación mayor que las obtenidas por desfase de la onda.

Así pues, en las secciones de registro mostradas es posible observar las 10 curvas obtenidas por atenuación de la onda electromagnética en la arena objetivo, del lado izquierdo las curvas de resistividad generadas con una baja frecuencia (400KHz) y del lado derecho las curvas generadas con una alta frecuencia (2 MHz); el comportamiento que mantienen tales curvas es prácticamente vertical, basado en lo expresado anteriormente y considerando que la frecuencia es una magnitud invariable en el universo. Es decir, no se puede modificar por ningún proceso físico excepto por su velocidad de propagación o longitud de onda. La longitud de onda tiene una relación inversa con la frecuencia a menor frecuencia, mayor longitud de onda, y viceversa; esto implica que las curvas de resistividad obtenidas por atenuación de la onda con la frecuencia de 400 KHz (baja frecuencia) tendrán un mayor alcance, y por tanto, la mayor profundidad de investigación, esta afirmación permite alegar que en una arena las mediciones obtenidas mediante las mismas constituyen la resistividad de los hidrocarburos presentes en la formación o por lo menos la curva A40L que teóricamente es de las 20 curvas la que tiene una mayor profundidad de investigación. Si se observa la posición de las curvas, estas están ubicadas de manera creciente según el espaciamiento del transmisor que generó la onda, así la posición de las ondas varía desde una menor resistividad para la onda generada por el transmisor

ubicado a 16 pulgadas, seguida por la de 22 pulg, 28 pulg, 34 pulg y 40 pulg (con el valor de resistividad más elevado). Por tratarse de una arena altamente impregnada de petróleo según los estudios petrofísicos llevados a cabo en la zona (figura 4.9) pozo perforado en la Faja Petrolífera del Orinoco, donde primeramente la cantidad de gas presente en la formación es prácticamente nula, por la profundidad de los pozos en esta zona, implica que la resistividad medida por este tipo de curvas representa la resistividad del petróleo, que como es conocido se trata de un petróleo pesado o extrapesado ($^{\circ}$ API por debajo de los 20°) cuya característica principal es su elevada viscosidad, básicamente 100% aceite, el aceite representa una molécula neutra, por lo que impide el flujo de cargas (electrones) a través de él, es por ello que este tipo de fluidos se caracterizan por ser prácticamente aislantes, con resistividades muy altas.

Por los estudios petrofísicos y geológicos llevados a cabo en el campo Zuata, el valor de resistividad aproximado esperada en la zona objetivo (región del oligoceno), es decir R_t , es superior a los 100 ohm.m, si se observan las curvas de resistividad obtenidas por atenuación de la onda sus valores oscilan entre 20 ohm.m (con la curva de 16 pulg) y 80 ohm.m (con la curva de 40) para la sección de registro mostrada en la fig 4.7. Un comportamiento muy similar se puede observar en las secciones registradas durante la perforación del pozo PZ2 (Fig 4.8).

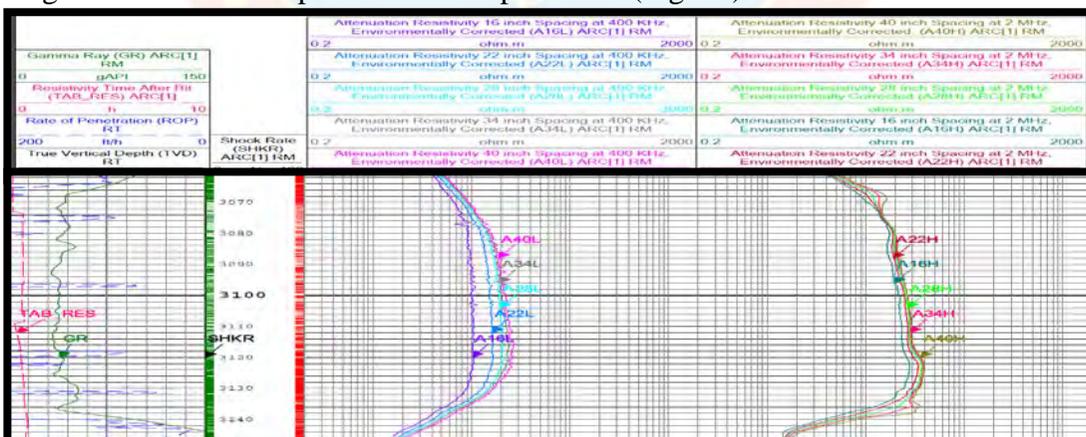


Figura 4.8 Sección de registro, arena productiva (Oligoceno) del slant PZ2-00SE

Fuente: Data de resistividad-PDVSA Petromiranda, pozo PZ2-00. SLB.

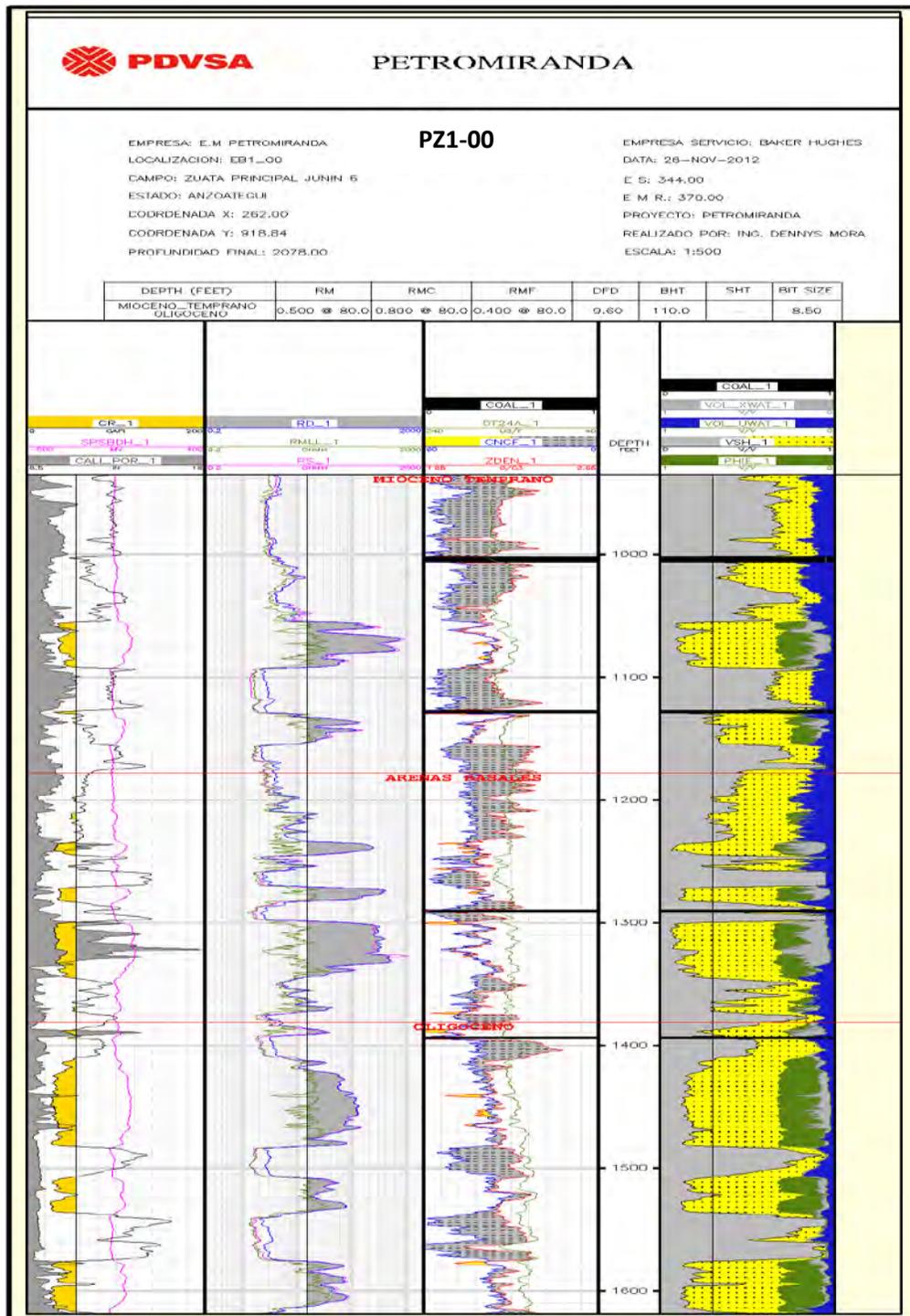


Figura 4.9. Estudio Petrofísico del Pozo PZ1-00, Campo Zuata.

Fuente: Modelo Petrofísico, bloque Junín 6 (2012).

Durante la propagación de la onda electromagnética a través de la roca, se producen pérdidas de energía. La disminución de energía es consecuencia de: las pérdidas producidas en la reflexión y refracción en cada una de las interfaces electromagnéticas que atraviese la onda, generándose una atenuación de la onda, que depende de las características electromagnéticas de los medios que traspasa la radiación y frecuencia.

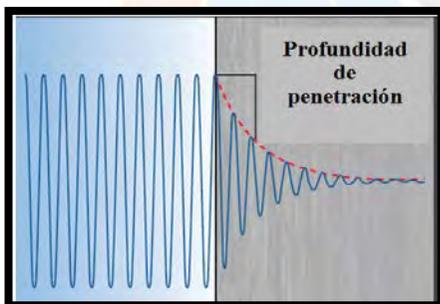
Los electrones absorben la energía a través de la vibración y alineación de las cargas del medio molecular llamada polarización causando una amortiguación o atenuación. La energía que absorben los electrones está relacionada con la resistividad, y la resistencia a las moléculas de polarización está relacionada con la constante dieléctrica del medio.

Una roca se define eléctricamente mediante tres parámetros: permeabilidad magnética, conductividad eléctrica y permitividad dieléctrica. Las rocas de los yacimientos están compuestas principalmente de minerales no magnéticos, por lo que sus permeabilidades magnéticas son despreciables. Debido a que la matriz de la roca tiene poca conductividad eléctrica de la formación, es decir la inversa de la resistividad, es principalmente una función de los fluidos que ocupan la red de poros. En el caso del campo Zuata principal (campo perforado), por los estudios petrofísicos llevado a cabo (mostrados anteriormente), en la zona productora existe agua de formación e impregnaciones de petróleo pesado y extrapesado, así pues, el campo electromagnético (onda) que sale de la herramienta comienza a decaer a medida que ingresa a un medio más conductivo, la existencia de agua en los poros de un medio determinado aumenta la capacidad de polarización del medio. Esto indica que mientras mayor sea el contenido de agua en la formación más rápido será la atenuación de la onda, es decir, más rápida será la pérdida de energía, sin embargo, esa cantidad de agua presente es muy pequeña, a medida que se incrementa la

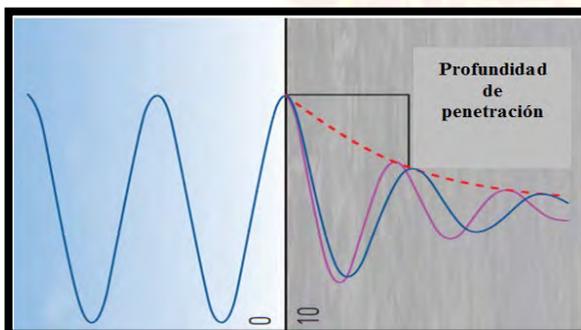
resistividad de la formación la atenuación de la onda es más lenta, lo que ocasiona que la onda se propague a una mayor distancia, disminuyendo su amplitud exponencialmente hasta tornarse prácticamente en una línea recta. La disminución exponencial de la amplitud, además, está directamente relacionada con la frecuencia de la onda.

Como se mencionó anteriormente, la frecuencia tiene una relación inversa con el concepto de longitud de onda, a mayor frecuencia menor longitud de onda y viceversa. Ocurriendo lo que se conoce como efecto pelicular, internamente la onda se comporta de la siguiente manera:

Onda con una frecuencia de **2MHz**



Onda con una frecuencia de **400KH**

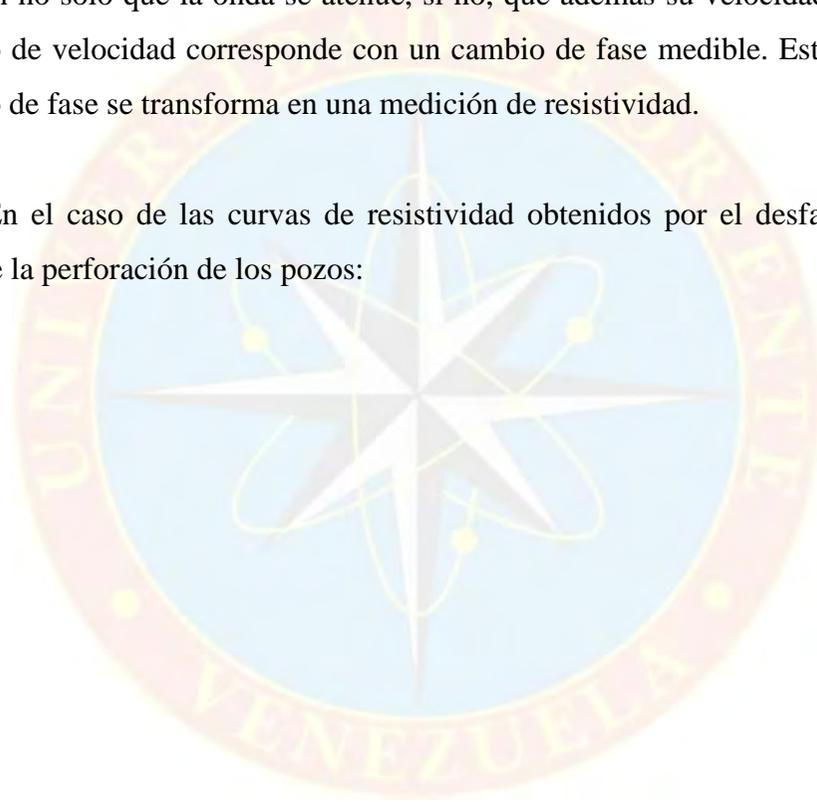


Esto explica en gran manera el comportamiento obtenido y observada en las secciones de registros mostradas anteriormente, al estar en un medio altamente

resistivo, no existe absorción significativa de energía, en este caso, el petróleo pesado está compuesto de moléculas neutras en las cuales básicamente no ocurre interacción de cargas, así pues la onda se propaga infinitamente, como una línea prácticamente vertical, generando mediciones con una variación insignificante (constante).

La interacción de la onda con los fluidos y minerales presentes en la formación, generan no solo que la onda se atenúe, si no, que además su velocidad cambia. Este cambio de velocidad corresponde con un cambio de fase medible. Esta medición de cambio de fase se transforma en una medición de resistividad.

En el caso de las curvas de resistividad obtenidos por el desfase de la onda durante la perforación de los pozos:



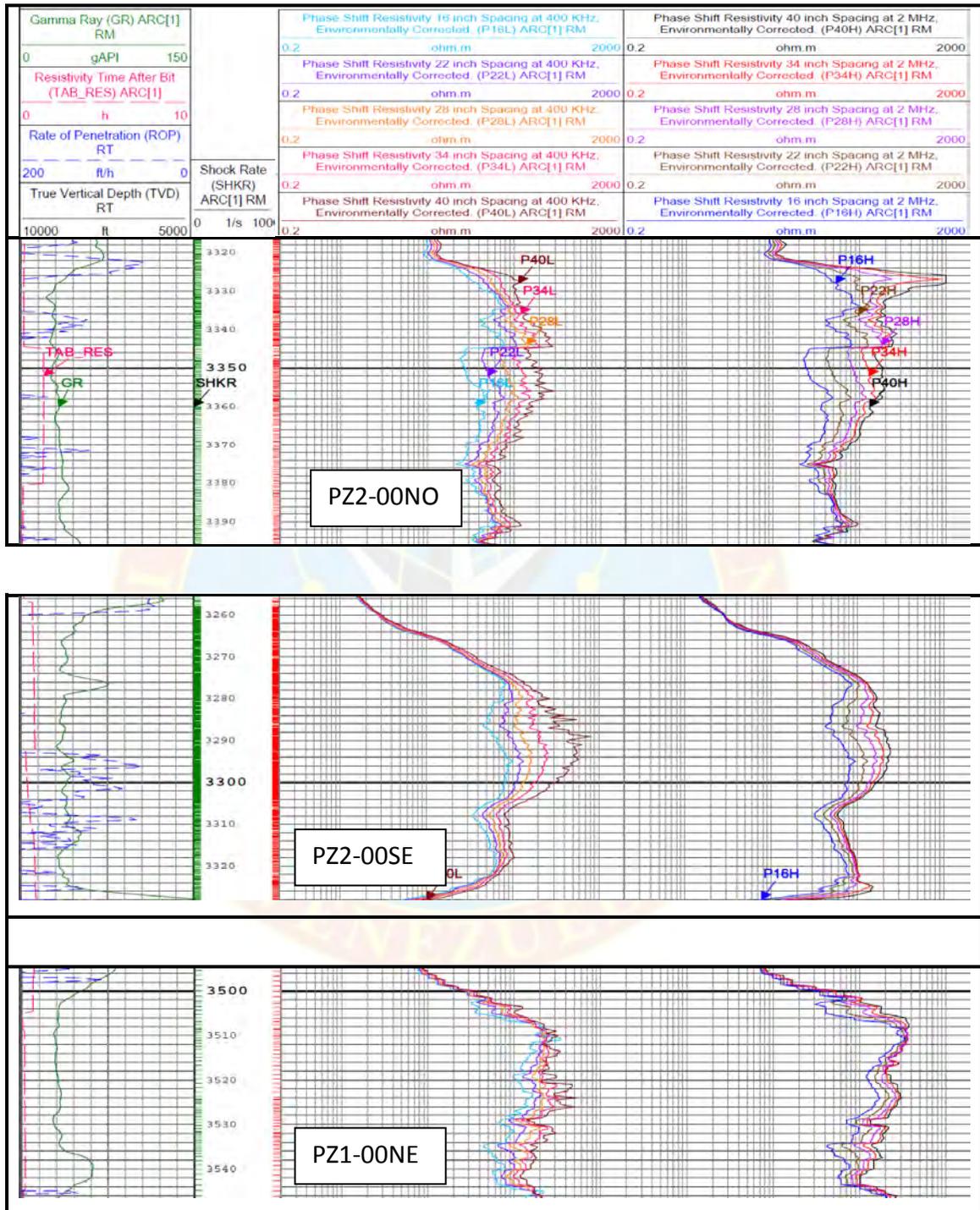


Figura 4.10 Sección de registro, arena productiva (Oligoceno).

Fuente: Data de resistividad PDVSA Petromiranda, pozos PZ1 y PZ2. SLB.

Al llevar a cabo un análisis de estas curvas, es posible observar varios aspectos relevantes primeramente su comportamiento el cual presenta una excelente resolución vertical, ya no se trata de curvas con una tendencia prácticamente vertical como se observó en la curvas de resistividad obtenidas por atenuación de la onda, el desfase de la onda se da independientemente del medio en el que este, debido a que el yacimiento nunca va a representar un medio completamente homogéneo la onda siempre sufrirá una variación en la velocidad de propagación y por tanto siempre sufrirá un desfase, que va variando en la medida que la onda incrementa su distancia de propagación. Así mismo, se observa en la secciones de registros presentadas anteriormente (Figura 4.10) que mediante las curvas de resistividad obtenidas por desfase de la onda los valores de resistividad medidos son superiores a los 100 ohm.m, esto sobre manera para las curvas de 34 pulg y 40 pulg tanto para la alta como para la baja frecuencia, basado en ello al arrojar valores superiores a los 100 ohm.m, es un indicativo de que con estas curvas se está alcanzando a tomar mediciones en la zona de interés (donde existe impregnación de petróleo), por lo que cuantitativamente se convierten en curvas más atractivas para dar respuesta y satisfacer las exigencias del cliente.

4.3 DETERMINAR LAS CURVAS DE RESISTIVIDAD QUE MEJOR COTEJEN LAS CONDICIONES DE LOS FLUIDOS PRESENTES EN LA FORMACIÓN DEL CAMPO JUNÍN, PERTENECIENTE AL BLOQUE JUNÍN 6.

De acuerdo al análisis de las curvas de resistividad llevado a cabo en el objetivo anterior, fue posible observar que cuantitativamente las curvas que proporcionaron una mejor respuesta son las mediciones de resistividad obtenidas por desfase de la onda, puesto que los valores de resistividad obtenidos por tales curvas son muy cercanos a los valores de resistividad esperados en la zona prospectiva.

Para ello se comparan entre si las curvas de resistividad obtenidas por desfase de la onda con una alta frecuencia (2 MHz) y las curvas obtenidas con una baja frecuencia (400 KHz).

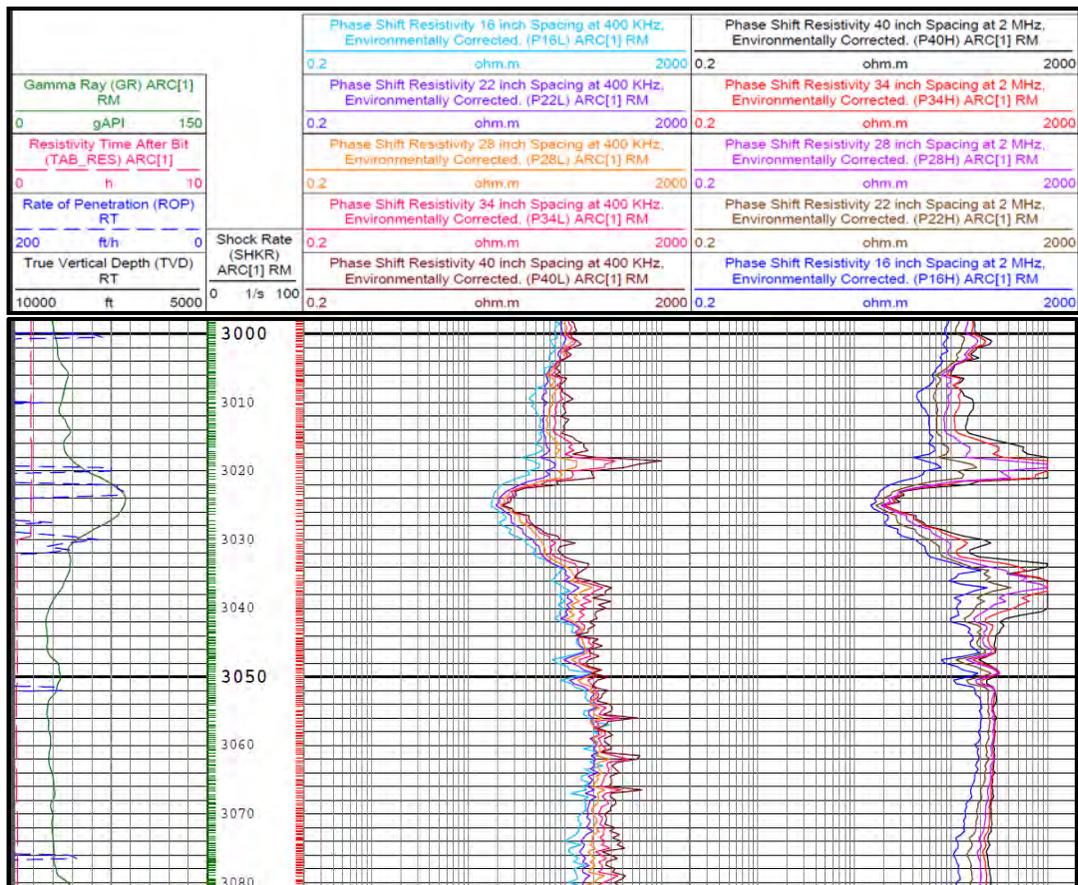


Figura 4.11 Sección de registro, arena productiva del slant PZ2-00SE

Fuente: Data de resistividad-PDVSA Petromiranda, pozos PZ2. SLB

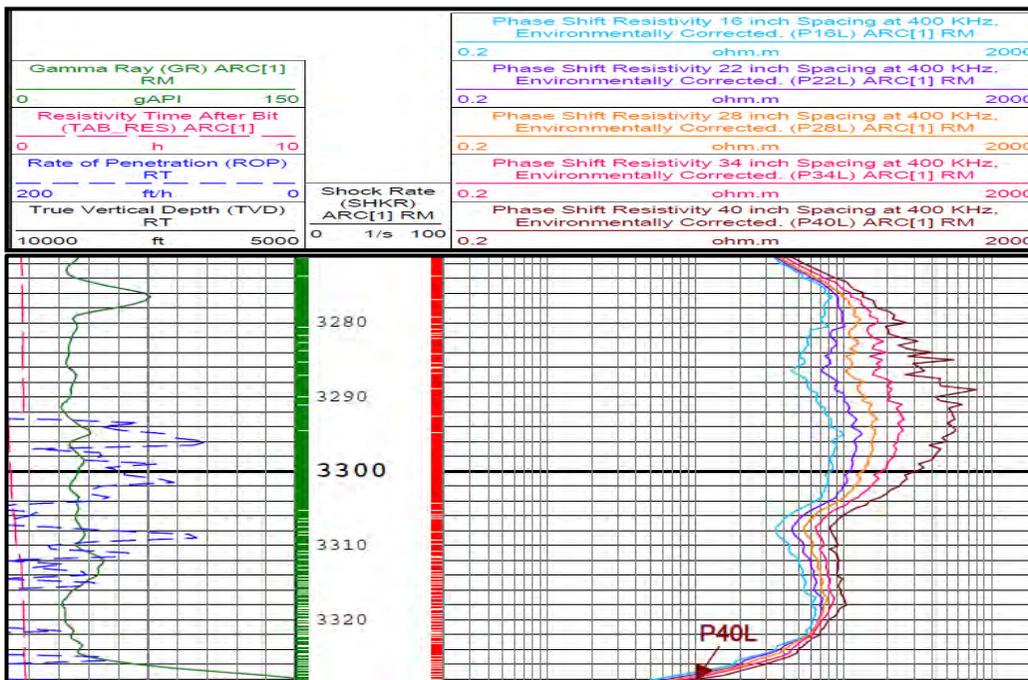


Figura 4.12 Sección de registro, arena productiva del slant PZ2-00SE

Fuente: Data de resistividad-PDVSA Petromiranda, pozos PZ2 y PZ1. SLB.

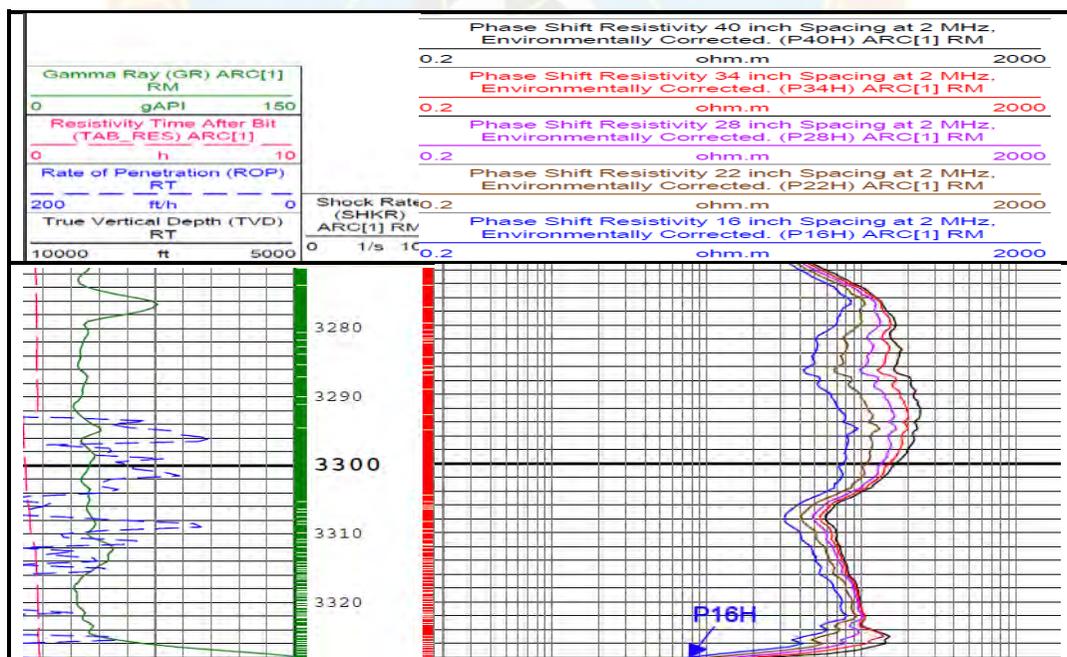


Figura 4.13 Sección de registro, arena productiva del slant PZ2-00SE

Fuente: Data de resistividad-PDVSA Petromiranda, pozos PZ2. SLB.

Si se analiza y observa con detalle cada grupo de curvas, lo primero que se notara es la calidad de cada curva, para el grupo de curvas de resistividad obtenidas por cambio de fase de la onda con una frecuencia de 400 KHz, la tendencia a seguir son curvas con picos, claramente diferenciable en cada una de las mediciones obtenidas en cada radio de investigación, a diferencia del comportamiento presentado por las curvas obtenidas con 2 MHz, se observa que ya no se tratan de picos.

La existencia de picos en las curvas generadas por el cambio de fase de la onda con la frecuencia de 400 KHz, implica que las onda generada está siendo afectada por las condiciones presentes en la formación, como se mencionó anteriormente la frecuencia es inversamente proporcional a la longitud de onda, implica que mientras menor sea la frecuencia mayor será la longitud, así pues, físicamente en la formación la onda presenta el siguiente comportamiento:

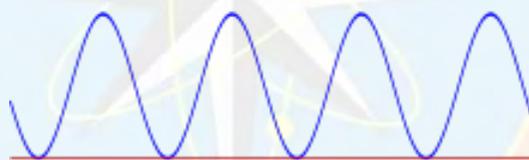


Figura 4.14 Onda electromagnética (baja frecuencia)

Fuente: Sondeos electromagnéticos. Manual Schlumberger

A diferencia del comportamiento que presenta la onda a una frecuencia de 2 MHz.

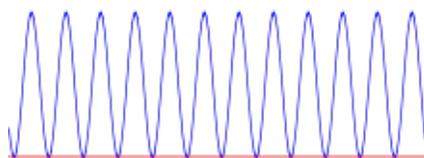


Figura 4.15 Onda electromagnética (alta frecuencia)

Fuente: Sondeos electromagnéticos. Manual Schlumberger

Así pues la distancia, entre una medición y otra representa la principal causa de la presencia de los picos en las curvas, lo cual además permite inducir que se trata de una formación altamente heterogénea o con una amplia variación en sus propiedades, puesto que, implica que la medición obtenida en un punto difiere en gran manera al obtenido en el otro punto de manera que al unir estas mediciones, resulta en picos. A diferencia de lo que ocurre con las mediciones obtenidas con la frecuencia de 2 MHz, se observa que en este caso mayor es el número de veces en la que se repite la onda y por tanto, mayor es la cantidad de mediciones obtenidas con esta frecuencia, obteniendo entonces no solo una curva con mayor calidad (mejor resolución vertical) sino que además mantiene una muy buena profundidad de investigación. Por el hecho de ser el petróleo pesado, altamente resistivo, la reducción de la amplitud de esta onda es muy lenta, es por ello que aun en la máxima profundidad obtenida con el grupo de curvas de cambio de fase con una alta frecuencia, la calidad de la curva se mantiene, proporcionando un gran detalle en la medición realizada.

El punto de partida en el momento de determinar las curvas de resistividad que mejor cotejan las condiciones de los fluidos presentes en la formación fue la resistividad verdadera de la formación (R_t). La resistividad de la formación representa uno de los primeros métodos de identificación de fluidos en un reservorio y es uno de los parámetros principales en la ecuación de Archie para determinar la saturación de agua (S_w). Así pues, se utilizó un software de interpretación conocido como ARCWizard, el cual proporciona una curva de R_t .

El ARCWizard, es un software que forma parte de Maxwell, es conocido como un “Producto de respuesta” desarrollado por otro segmento de Schlumberger conocido como DCS (Data y servicios de consultoría), este segmento proporciona una gamma de servicios de interpretación: Geofísicos, geológicos, petrofísicos y geomecánicos y servicios de ingenierías tales como: Construcción del pozo,

ingeniería de yacimientos, completación y simulación. Una de las herramientas petrofísicas más importantes que ha desarrollado este segmento es el ARCWizard, el cual forma parte de la familia ARC y su principal propósito es proporcionar información fundamental para la interpretación exhaustiva de las mediciones de resistividad, una de sus más grandes ventajas es que, como se mencionó anteriormente, mediante este software es posible obtener la curva de resistividad verdadera de la formación (R_t), para obtener esta curva el software basado en el comportamiento de las 20 curvas de resistividad generadas por el ARC selecciona el efecto dominante en la formación que causa la separación de las curvas y así proporciona la resistividad de la formación compensada por el efecto.

El propósito al usar este software fue determinar cuál de las curvas de resistividad generadas por el ARC, proporciona R_t .

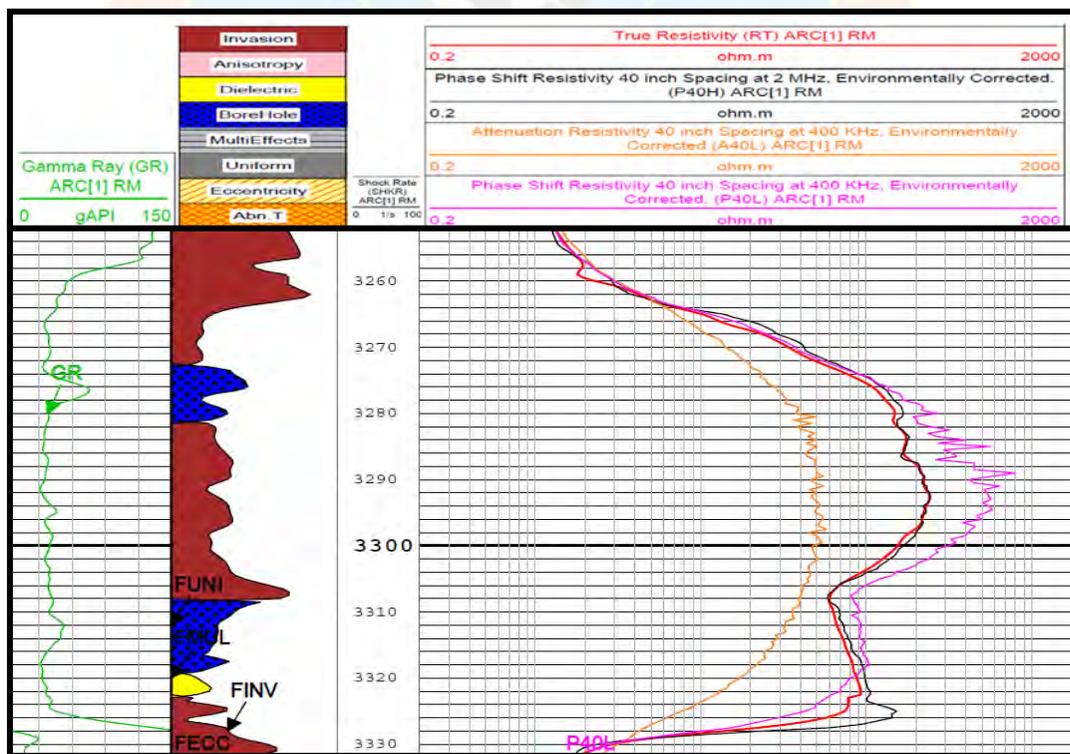


Figura 4.16 Sección de registro pozo PZ2-00SE obtenido con ARCWizard
Fuente: Data de resistividad-PDVSA Petromiranda, pozos PZ2. SLB

Para ello se comparó el comportamiento de la curva de R_t con las curvas A40L, P40L; siendo A40L teóricamente la curva de resistividad obtenida por atenuación de la onda más profunda y P40L la más profunda de las curvas de resistividad obtenidas por desfase de la onda, y P40H que basado en los análisis realizados anteriormente, representa la curva más profunda del grupo de curvas que mantuvieron la mejor resolución vertical y profundidad de investigación. (Figura 4.17)

Si se analiza y compara cada una de las curvas con la curva de resistividad real de la formación es posible observar, primeramente la curva A40L (curva naranja), como se mencionó anteriormente esta representa la curva capaz de alcanzar una mayor profundidad de investigación de las 20 curvas de resistividad generadas por el ARC, teóricamente implica que esta medición será la menos afectada por efectos como el de invasión en la formación, por lo que se podría pensar que su valor debería ser muy cercano al de la resistividad real de la formación, sin embargo se puede observar en las secciones de registros de la zona de interés, como la tendencia de esta curva está alejada a el comportamiento que presenta la curva de R_t (curva roja), alcanzando un valor máximo en casi todos los casos de 50 ohm.m y generando picos; de igual manera ocurre con el comportamiento de la curva P40L, aun cuando de las curvas de resistividad obtenidas por desfase de la onda esta representa la más profunda, se observa como su comportamiento es diferente al esperado con la curva de R_t . Por otra parte a diferencia de las dos anteriores, es posible observar como la tendencia presentada por la curva P40H (curva negra) es muy similar al de la curva de resistividad real de la formación (R_t), en muchos casos manteniendo prácticamente el mismo comportamiento, esta curva como se mencionó anteriormente representa la curva con mayor profundidad de investigación del grupo de curvas de resistividad obtenidas por desfase de la onda con una alta frecuencia (2MHz), lo que la convierte en la mejor opción para dar respuesta y solventar la principal necesidad y requerimiento. Proporcionando un valor de resistividad muy

cercano al valor de resistividad real de la formación, contribuyendo en gran manera a la caracterización y estudio de la zona prospectiva.

Es importante recordar, que la medición de resistividad se utiliza además para detectar la presencia de invasión en la formación. Como se mencionó anteriormente, otras de las grandes ventajas del uso del ARCWizard es que es posible obtener el efecto presente en la formación que causa la separación de las curvas. Efectos tales como: Anisotropía, invasión, efecto dieléctrico, efecto del pozo (Borehole, en inglés), excentricidad y multiefectos (cuando están presentes dos o más efectos en la formación).

Resultando como efecto dominante en la data de los pozos PZ1 y PZ2, la invasión de filtrado de lodo a la formación (Ver Apendice D).

Durante la perforación del pozo, la presión hidrostática de la columna de fluido de perforación es generalmente mayor que la presión de poro de las formaciones. Esto evita que el pozo se “descontrole” evitando que ocurra una arremetida de fluidos de la formación hacia el pozo. La diferencia de presión resultante entre la columna de lodo y la formación obliga al filtrado de lodo a entrar en la formación permeable, generando un proceso que se conoce como “invasión de filtrado de fluido de perforación”.

Este proceso ocasiona que los fluidos originales presentes en la formación sean desplazados, generando 3 zonas en el yacimiento:

Zona lavada: donde el filtrado a desplazado todo los fluidos originalmente presentes en la formación; quedando solo filtrado. La resistividad de esta zona es denotada como R_{xo} .

Zona de Transición: esta zona contiene filtrado de lodo y fluido original de la formación.

Zona no invadida: representa la sección en la que los fluidos no han sido perturbados por la operación de perforación, esta zona contiene agua de formación e hidrocarburos. La resistividad en esta zona es denotada como Rt.

Para obtener un estudio detallado de estas regiones formadas en el yacimiento, basados en los análisis realizados anteriormente. Se decide evaluar el comportamiento de las 5 curvas de resistividad obtenidas por cambio de fase de la onda con una alta frecuencia (2 MHz), con el propósito de determinar que curvas permiten al cliente detectar el fenómeno de invasión, como se mencionó, estas curvas presentaron el mejor comportamiento de las 20 curvas de resistividad obtenidas por el ARC, manteniendo no solo una buena resolución vertical sino que además mantiene una excelente profundidad de investigación.

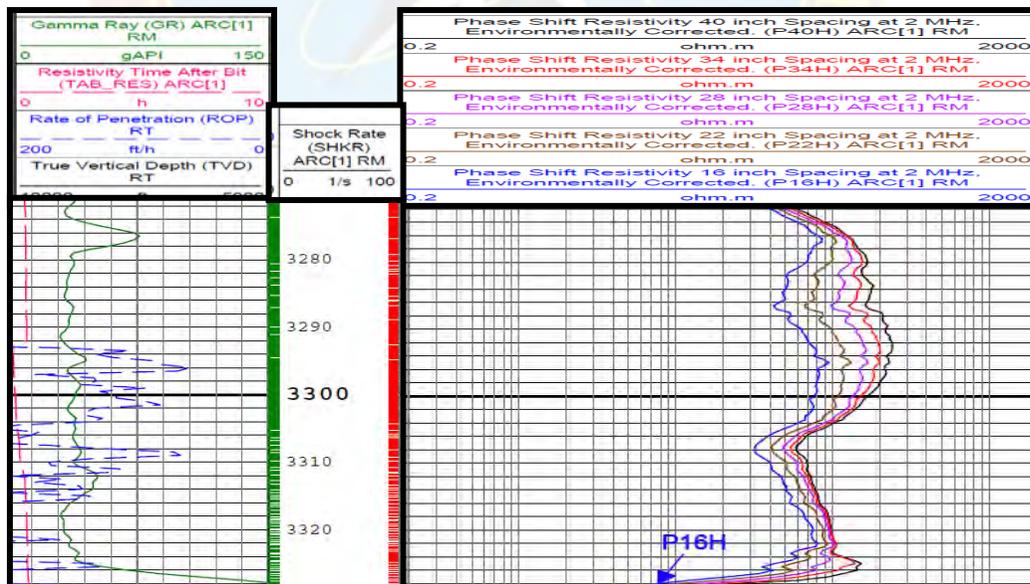


Figura 4.17 Sección de registro, arena productiva del slant PZ2-00SE

Fuente: Data de resistividad-PDVSA Petromiranda, pozo PZ2. SLB.

La posición y el valor de resistividad arrojado por cada una de las curvas obtenidas por el desfase de la onda con una alta frecuencia en esta sección hace claramente evidenciable el efecto de invasión, que inicialmente es muy somero tornándose más pronunciado en la parte intermedia del bloque de arena, y finalmente reduciéndose en gran manera. Todo ello se puede deducir, al analizar la separación de las curvas, inicialmente se observa que las curvas están muy cercanas, prácticamente a 34 pulg (curva roja) es posible observar que la resistividad es igual a la curva P40H (curva negra), lo que implica que ya a esta profundidad no existe invasión, sin embargo, a medida que se profundiza, las curvas comienzan a separarse hasta llegar a un punto en el que cada una presenta un valor de resistividad diferente, en este punto es posible deducir el aumento en la permeabilidad de la arena que genera un incremento en la invasión por parte del fluido de perforación, al ser una zona perforada con lodo base agua, el fluido que invade a la formación presentara una resistividad menor a los hidrocarburos presentes, se observa como las curvas están en sentido creciente, siendo el mínimo valor el arrojado por la curva P16H y el máximo el leído por la curva P40H, en este caso, quizá la zona virgen está siendo afectada por tal invasión, debido a la separación que existe entre la curva 34 y 40. Finalmente las curvas 28 y 34 comienzan a unirse y a presentar un valor prácticamente igual a P40H lo que nos permite inducir que la invasión se redujo en gran manera.

De igual forma si se observa esta sección de registro del pozo PZ2-00NE, se distingue un proceso de invasión, que si se analiza el comportamiento y posición de cada una de las curvas se deduce que se trata de un proceso de invasión somero, esto debido a que la diferencia en las lecturas de resistividad son representativas en las P16H y P22H, ya para las curvas P28H, P34H y P40H las lecturas de resistividad se mantienen prácticamente iguales, indica que con las 3 curvas se está midiendo la resistividad del mismo fluido, representando la curva P40H el valor de R_t , implica que a una profundidad de investigación de 28 pulg, el filtrado de fluido de

perforación no ha afectado de manera significativa a los fluidos originales presentes en el yacimiento.

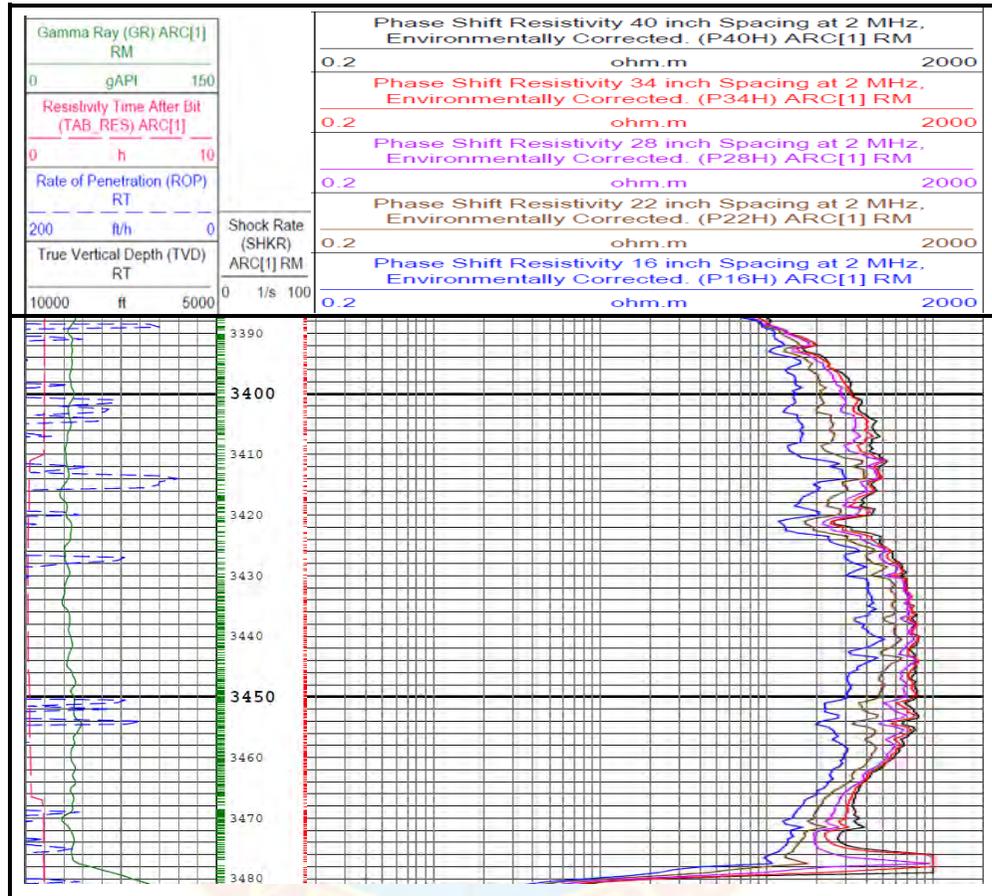


Figura 4.18 Sección de registro, arena productiva del slant PZ2-00NE

Fuente: Data de resistividad-PDVSA Petromiranda, pozos PZ2. SLB.

Con lo anterior, se demuestra que el grupo de curvas de resistividad obtenidas con la frecuencia de 2 MHz (alta frecuencia), representan la mejor opción para el campo Zuata (Bloque Junín 6).

Por otra parte, anteriormente se mencionó, que el plan de producción temprana acelerada, del bloque Junín 6, incluye la puesta en producción de dos macollas (PZ1

y PZ2) ubicadas en la zona norte del Bloque Junín 6, las cuales según estudios geológicos, dinámicos y de superficie, comprende el área más prospectiva del campo, denominada “Área de Producción Temprana”.

La producción para esta dos macollas, inicia con la perforación de 4 pozos tipo “S” direccionados NE, NO, SE y SO en cada una de los pozos. Estos pozos tipo “S” tiene como propósito fundamental contactar el yacimiento de manera vertical, estimando su espesor. Posterior a estos, la explotación y producción de la zona prospectiva se llevara a cabo a través de pozos horizontales de alto ángulo (Apéndice A), con el propósito fundamental demaximizar la producción y las reservas del yacimiento.

Así pues durante la perforación de este tipo de pozos la evaluación de la formación mientras se perfora (LWD por sus siglas en inglés) resulta de vital importancia. Una de las principales de la nueva generación de herramientas de LWD desarrolladas por Schlumberger, es que dentro de otras cosas, mediante las curvas de resistividad es posible guiar a los pozos, a sus destinos geológicos óptimos esto es dentro de la arena.

Es posible observar en la figura 4. 20, el comportamiento de las 20 curvas de resistividad obtenidas por el ARC, en un pozo vertical, como con las curvas de atenuación es posible obtener una buena profundidad de investigación, por otra parte, en el pozo horizontal se observa como parte de las curvas leen en la arena, pero otra parte está en la interface y midiendo la resistividad del estrato siguiente (lutita).

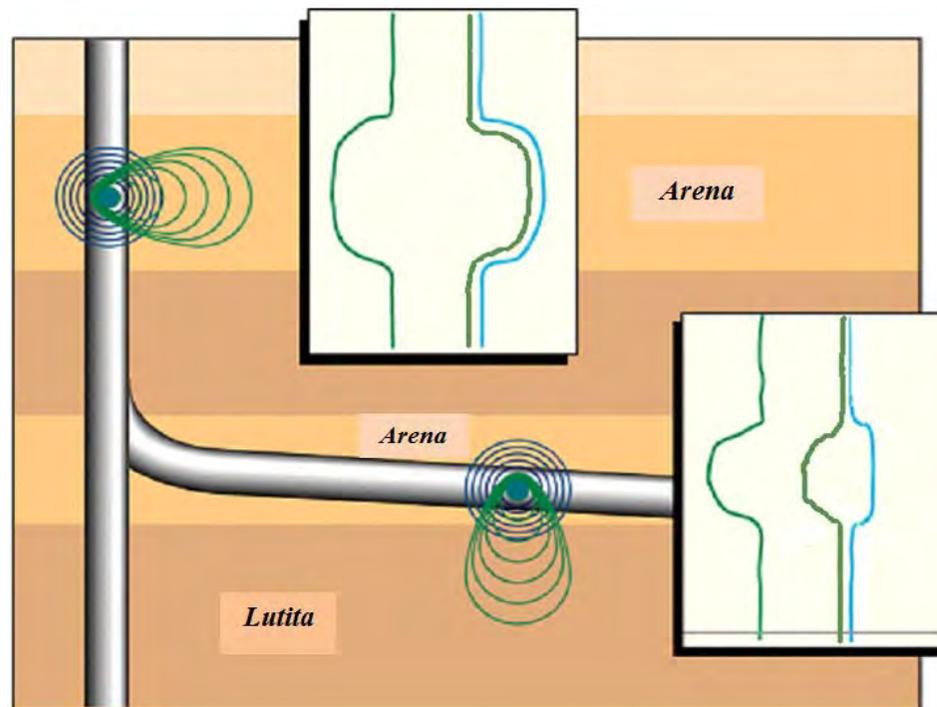


Figura 4.19 Estratos de una formación, durante perforación con ARC.

Fuente: Presentación ArcVisionResistivity- ToolInterpretation. SLB.

Al momento de iniciar la construcción de la sección horizontal inicia una navegación de la arena como se muestra en la siguiente figura.

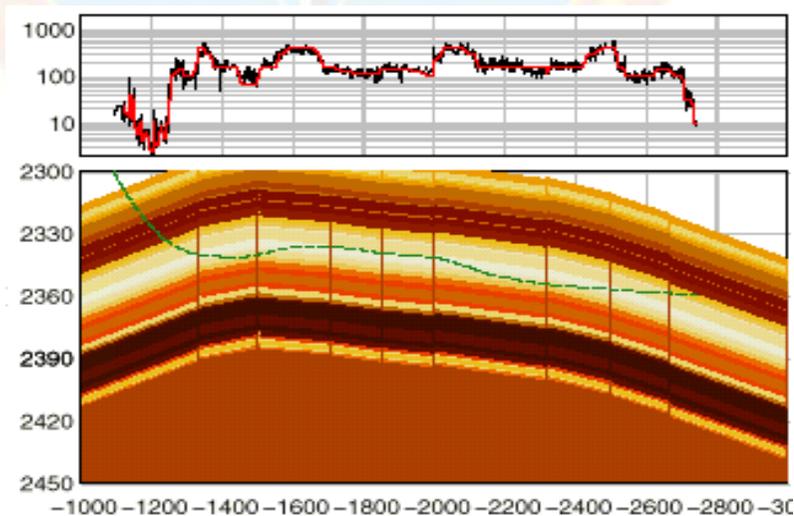


Figura 4.20 Geonavegación de pozo en zona prospectiva.

Fuente: Presentación ADN – Tooltheory. Schlumberger

Se observa en la imagen anterior (Figura 4.21), la trayectoria de la herramienta durante la perforación, la cual por las irregularidades y discontinuidades presentes en la formación no mantiene una total horizontalidad, sino que tiende a ser una trayectoria no uniforme, el propósito fundamental radica en mantenerse dentro de la arena prospectiva, de manera de llegar a la colocación óptima del pozo, por esta razón la evaluación de la formación mientras se perfora resulta de vital importancia. Para esta evaluación las mediciones de resistividad obtenidas con el ARC juegan un papel fundamental, puesto que, la resistividad es diferente en cada uno de los estratos de roca presentes en la formación, la zona prospectiva (Oligoceno) se caracteriza por la presencia hacia el tope y base de lignitos y lutitas de poco espesor, así pues, es posible mediante las curvas de resistividad que teóricamente son más profundas, es decir las curvas obtenidas por atenuación de la onda con una baja frecuencia, ir monitoreando que la navegación se está realizando.

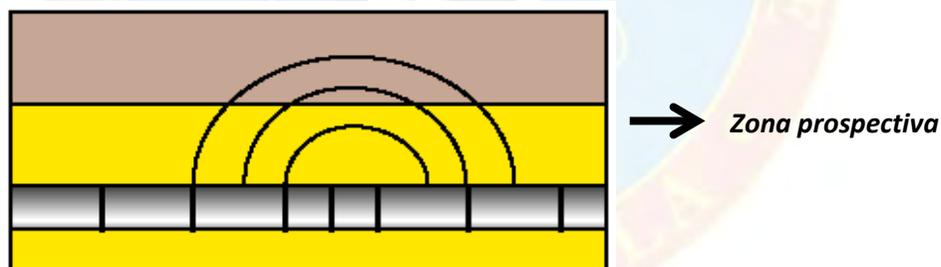


Figura 4.21 Geonavegación de pozo en zona prospectiva.

Fuente: Presentación ADN – Tooltheory. Schlumberger

La respuesta de las curvas de atenuación al encontrarse en una interfase, se traducirá en la formación de picos en las mediciones, debido a la diferencia de resistividades en esa zona. Esto se puede observar en la data obtenida durante la perforación del pozo PZ2-00NE. Como se puede observar en la fig 4.15.

Sustentando en el plan direccional de este pozo fig 4.22, es posible afirmar que esta sección corresponde a la navegación horizontal, donde se hace claramente evidenciable el comportamiento de las curvas de atenuación, las cuales generaron picos en las mediciones, característico de estar cerca de una interface, donde la onda está leyendo dos o más formaciones con características completamente diferentes.



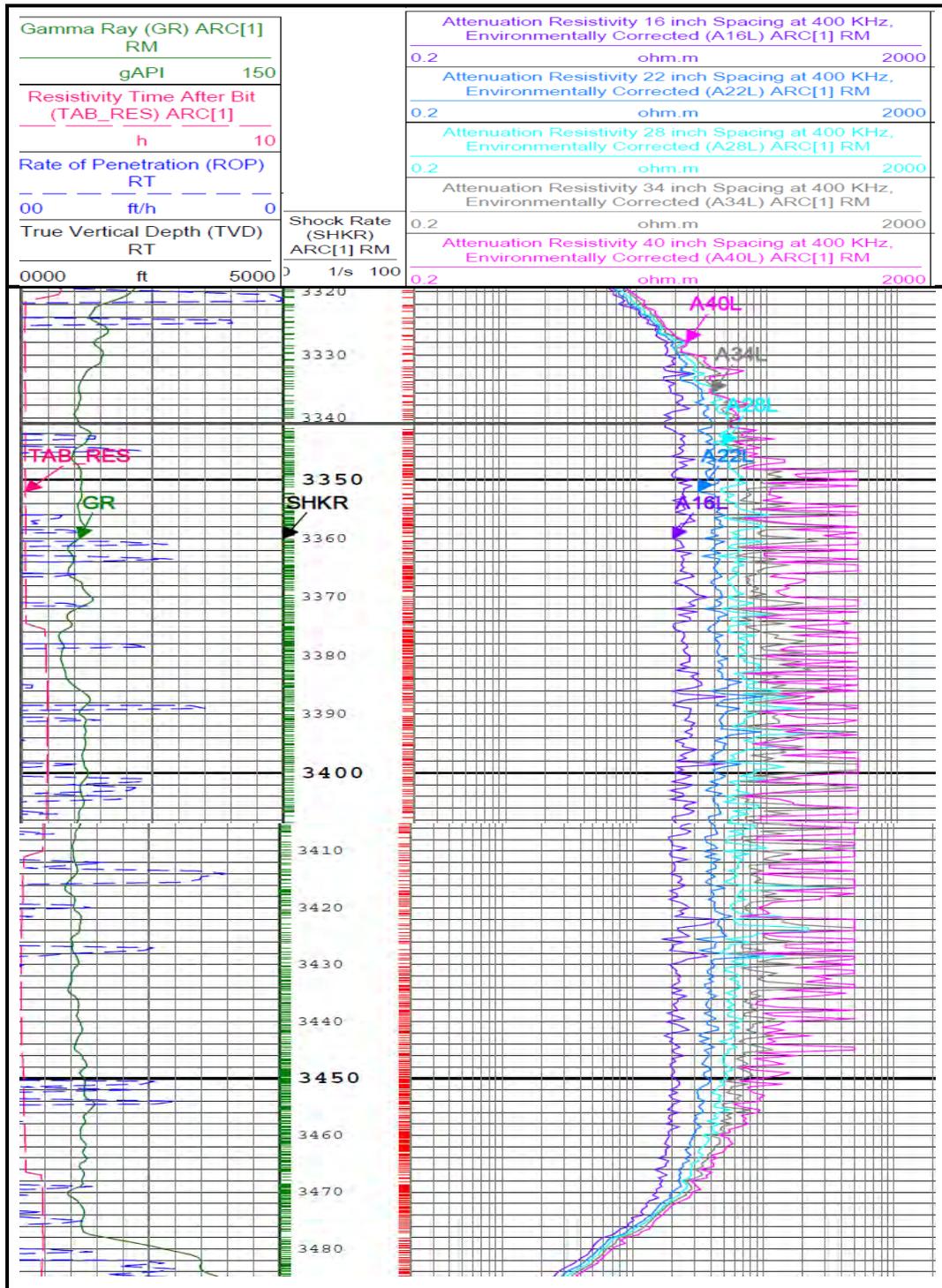


Figura 4.22 Sección de registro, arena productiva del pozo PZ2-00NE

Fuente: Data de resistividad-PDVSA Petromiranda, pozos PZ2. SLB.

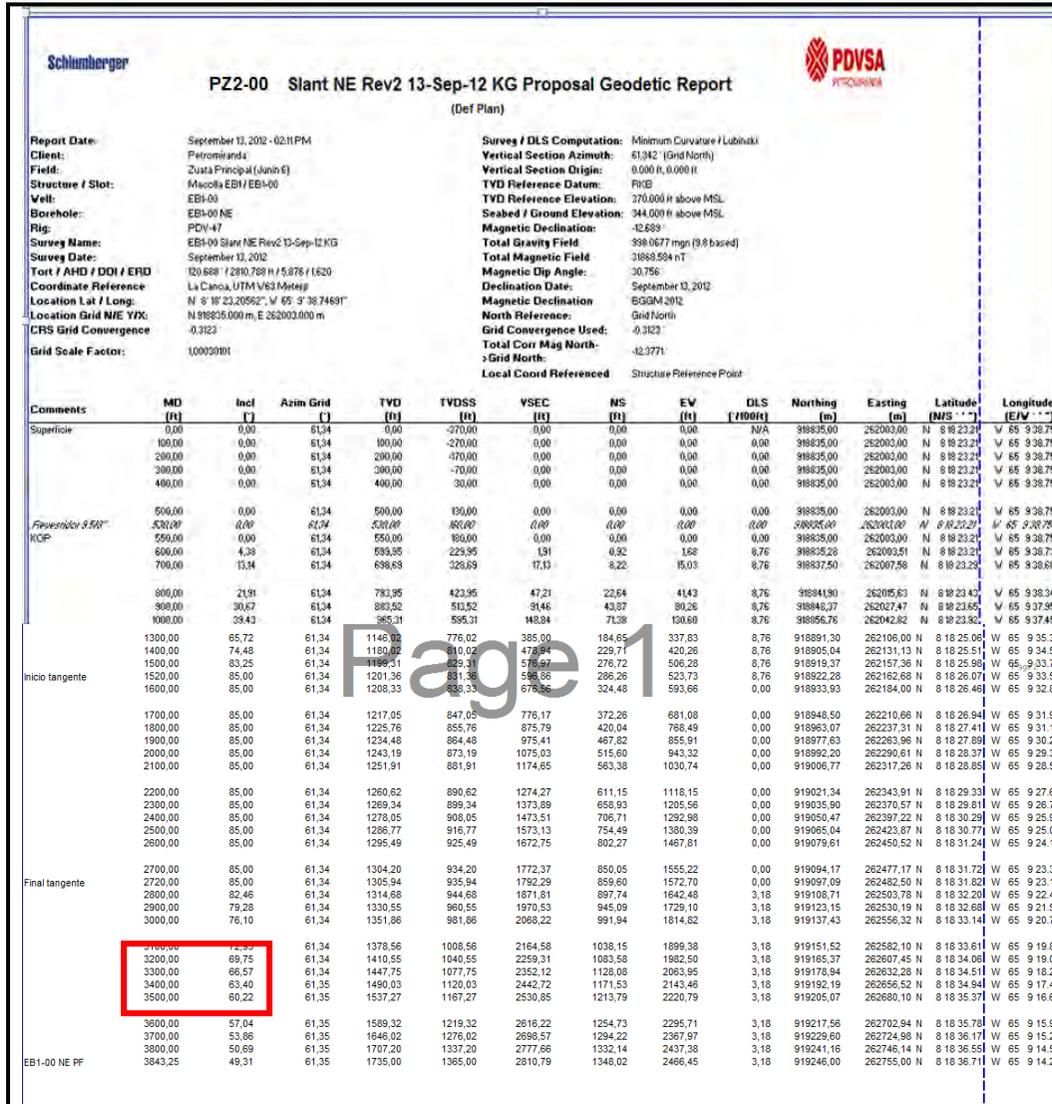


Figura 4.23 Plan Direccional del pozo PZ2-00NE. Schlumberger.

Fuente: Informe direccional del pozo PZ2-00NE. (2012)

Es posible observar el ángulo del pozo a la profundidad que se tiene registrada en la sección anterior, posterior a la construcción de tangente, se tendrá una sección horizontal, donde el ángulo se mantiene casi constante, con caídas muy pequeñas (entre 2-3°).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La columna estratigráfica del campo Zuata principal, bloque Junín 6 se inicia con unidades litoestratigráficas del Paleozoico, representada por la formación Carrizal cuyo límite de extensión areal está dentro del bloque Junín 6, continúan en orden ascendente las formaciones Tigre y Canoa del Cretácico, erosionadas hacia la parte norte del Bloque Junín 6. Luego con aumento de espesor hacia el oeste suprayace discordantemente la Formación Merecure del Oligoceno. Sobre esta unidad descansa concordantemente la Formación Oficina del Mioceno Temprano- Medio.
- La zona más prospectiva del campo Zuata (Bloque Junín 6) está representada por la región del Oligoceno (Formación Merecure), según los estudios geológicos y petrofísicos existe elevada impregnación de petróleo pesado.
- Las Ondas electromagnéticas se propagan a mayor distancia en los medios menos conductivos, esto representa un incremento en la profundidad de investigación.
- La onda electromagnética al propagarse a través de un medio heterogéneo, como lo son las formaciones perforadas, sufre una pérdida de energía consecuencia de las pérdidas producidas en la reflexión y refracción en cada una de las interfaces electromagnéticas que atraviesa la cual se traduce en una atenuación de la onda.
- Así mismo, durante su movimiento a través de la formación, la velocidad de propagación de la onda varía esto se traduce en un cambio de fase o desfase, mediciones que son transformadas en valores de resistividad.

- Las ondas con frecuencia de 400 KHz se propagan a mayor distancia que las de frecuencia de 2 MHz.
- Las curvas de resistividad obtenidas por atenuación de la onda en la zona prospectiva presentan una mayor profundidad de investigación que las curvas de resistividad obtenidas por desfase de la onda.
- Las curvas de resistividad obtenidas por desfase de la onda presentan una mejor resolución vertical que las curvas de resistividad obtenidas por atenuación de la onda.
- En formaciones con fluidos altamente resistivos ($> 150 - 200 \text{ ohm.m}$), como es el caso del crudo presente en el campo Zuata (bloque Junín 6), la respuesta de resistividad obtenida por atenuación de la onda se mantiene prácticamente constante, generando curvas con un comportamiento vertical, debido a que la absorción de electrones en el petróleo pesado es muy pequeña e invariable.
- El desfase de la onda está directamente relacionado con la densidad del medio que atraviesen, en formaciones heterogéneas (con diferentes densidades) como las del bloque Junín 6, la onda siempre sufrirá un cambio en su fase, por esta razón los valores de resistividad arrojados proporcionan un mayor detalle de la formación objetivo.
- Las mediciones de resistividad obtenidas con el desfase de la onda a una frecuencia de 400 KHz, fueron afectadas por la heterogeneidad presente en la formación, lo cual se expresó por picos en las curvas obtenidas, que se traduce en una mala resolución vertical.
- El grupo de curvas de resistividad obtenidas por desfase de la onda con la frecuencia de 2 MHz (P16H, P22H, P28H, P34H y P40H), en el campo Zuata (Bloque Junín 6) mantienen no solo una excelente resolución vertical, sino que además mantienen una muy buena profundidad de investigación, proporcionando un gran detalle de las condiciones de los fluidos presentes en la formación, permitiendo evaluar la formación mientras se perfora.

- La curva P40H representa la medición de resistividad más cercana a la resistividad verdadera de la formación (R_t).
- Las distintas profundidades de investigación ofrecidas con las curvas P16H, P22H, P28H, P34H y P40H, permiten obtener un estudio aún más detallado de la formación, permitiendo identificar efectos tales como la invasión de filtrado de fluido de perforación.
- Mediante las mediciones de resistividad a diferentes profundidades de investigación, fue posible identificar zonas donde la invasión se incrementó y el espaciamiento de las curvas se hizo claramente evidenciable, lo cual quizá representa un incremento en la permeabilidad de la formación.
- Con las curvas de resistividad obtenidas por atenuación de la onda con una frecuencia de 400 KHz (A16L, A22L, A28L, A34L y A40L), es posible evaluar durante la perforación la navegación del pozo en la arena prospectiva o de interés, con el propósito de mantener la trayectoria del pozo y lograr una colocación óptima del pozo.

5.2 RECOMENDACIONES

- Realizar ajuste de la data solicitado, adicionando las curvas P22H Y P34H, para obtener de esa manera una evaluación más completa de la formación durante la perforación. Así mismo con las curvas A16L, A22L, A28L, A34L y A40L, con el objeto de evaluar de mejor manera la navegación en la zona prospectiva en pozos horizontales (geonavegación), garantizando de esa manera la colocación óptima del pozo.
- Llevar a cabo un estudio más detallado en las secciones de arena de los pozos: PZ2-00NE (3090 pies- 3230 pies), PZ2-00NO (3320 pies- 3400 pies y 3538 pies- 3600 pies), PZ2-00SE (3260 pies- 3328 pies), PZ2-00SO (3268 pies- 3328 pies), PZ1-00SO (3464 pies- 3504 pies) y PZ1- 00SE (3500 pies- 3550 pies). En estas secciones la separación de las curvas fue claramente

evidenciable, y mediante el ARCWizard se comprobó que se trataba de un proceso de invasión, por lo que podrían ser zonas donde la permeabilidad se incremente y sea quizá necesario, aumentar la densidad del lodo.

- Utilizar el servicio de ARCWizard, y de esa manera optimizar aún más la evaluación de la formación durante la perforación, conociendo efectos como: Anisotropía, invasión, efecto dieléctrico, efecto del pozo (Borehole, en inglés), excentricidad. Permitiendo tomar decisiones inteligentes, optimizando de esa manera el proceso de perforación.
- Para garantizar exposición a la arena neta productivo utilizar el periscope, que es una herramienta de mapeo de límites de capas y mapeo de los contactos de fluidos durante la perforación a través del cual es posible identificar el contraste de resistividad y conductividad entre una formación y otra, permite mantener los pozos dentro de la zona de interés y a la vez evaluar las capas de formación durante la perforación en menos tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

- ARIAS, F. (2006). *El proyecto de la investigación: Introducción a la metodología a la investigación* (5ªed). Caracas: Episteme.
- Coordinación de la Faja Petrolífera del Orinoco. (2009).*Informe Junín 6*.Caracas: PDVSA Petromiranda.
- Fenwick, A; Sanderg, S; Campbell, T. (2009).“*Sondeos electromagnéticos para la explotación de petróleo y gas.*”Schlumberger.
- Gerencia de Geociencias y Yacimientos. (2011). “*Plan de Desarrollo 2012 Bloque Junín 6 Faja Petrolífera del Orinoco.*” Puerto la Cruz: PDVSA Petromiranda.
- HERNANDEZ, C; FERNANDEZ, P; BAPTISTA. (2006). *Metodologia de la investigacion*. Mexico: Mc Graw-Hill.
- LI, Q; BRATTON, T; SMITS, J; DOGHMI, M (2004).“*Interpretación de registros de resistividad obtenidos mediante herramientas de LWD en pozos de ambientes complejos basados en ejemplos de campos.*”Trabajo d investigación.Sociedad de Petrofísicos y Analistas de Pozos (SPWLA)
- SCHLUMBERGER (2009).*Manual de OIL Resistivity*. Sara Richmire.
- SCHLUMBERGER (2009). *Manual de telemetria*. Sara Richmire.
- SCHLUMBERGER (2009). *Manual de operaciones del ARC*. HFE D&M Doc Sustaining, Igbunuroghene Onosode
- SCHLUMBERGER (2008). *Manual ARC Self Learnig Package*. Sugar Land Learning Center.

RASMUS, J; SPAETH, R; CRARY, S; JACOBSEN, S (2005). “*Análisis de los efectos de invasión en los registros de resistividad.*” Trabajo de Investigación. Sociedad mundial de ingenieros de petróleo (SPE)

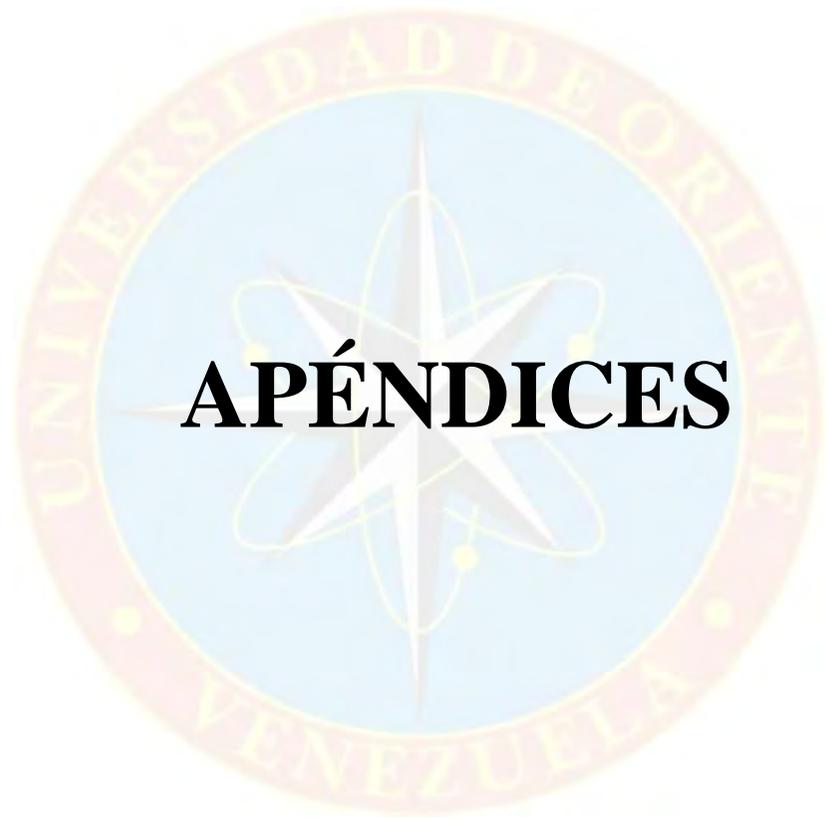
Fuentes Electrónicas

A, DOUGLAS; C, KRUGER; B, HEIAM Y S, JOHNSTON. (2008). “*Perfilaje de pozos*”. [Página en línea] Disponible en: http://www.gc.usb.ve/GeoPetroleo/WEC_VENEZUELA_97/SPANISH/Cap_4pdf

SCHLUMBERGER (2006). *Manual de Mediciones durante la perforacion* [Página en línea] disponible en: <http://es.scribd.com/doc/38428547/13-Herramientas-de-LWD>

SCHLUMBERGER (2007). “*Mejoras en la colocacion de pozos con el modelado durante la perforacion.*” [Página en línea] disponible en: https://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/spanish07/spr07.pdf

SCHLUMBERGER (2010). “*Adentrándose en el yacimiento.*” [Página en línea]. Disponible en: http://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfieldreview/spanish09/aut09/04adentrandose_yacimiento.pdf



APÉNDICES



APÉNDICE A

Geología del bloque Junín 6.

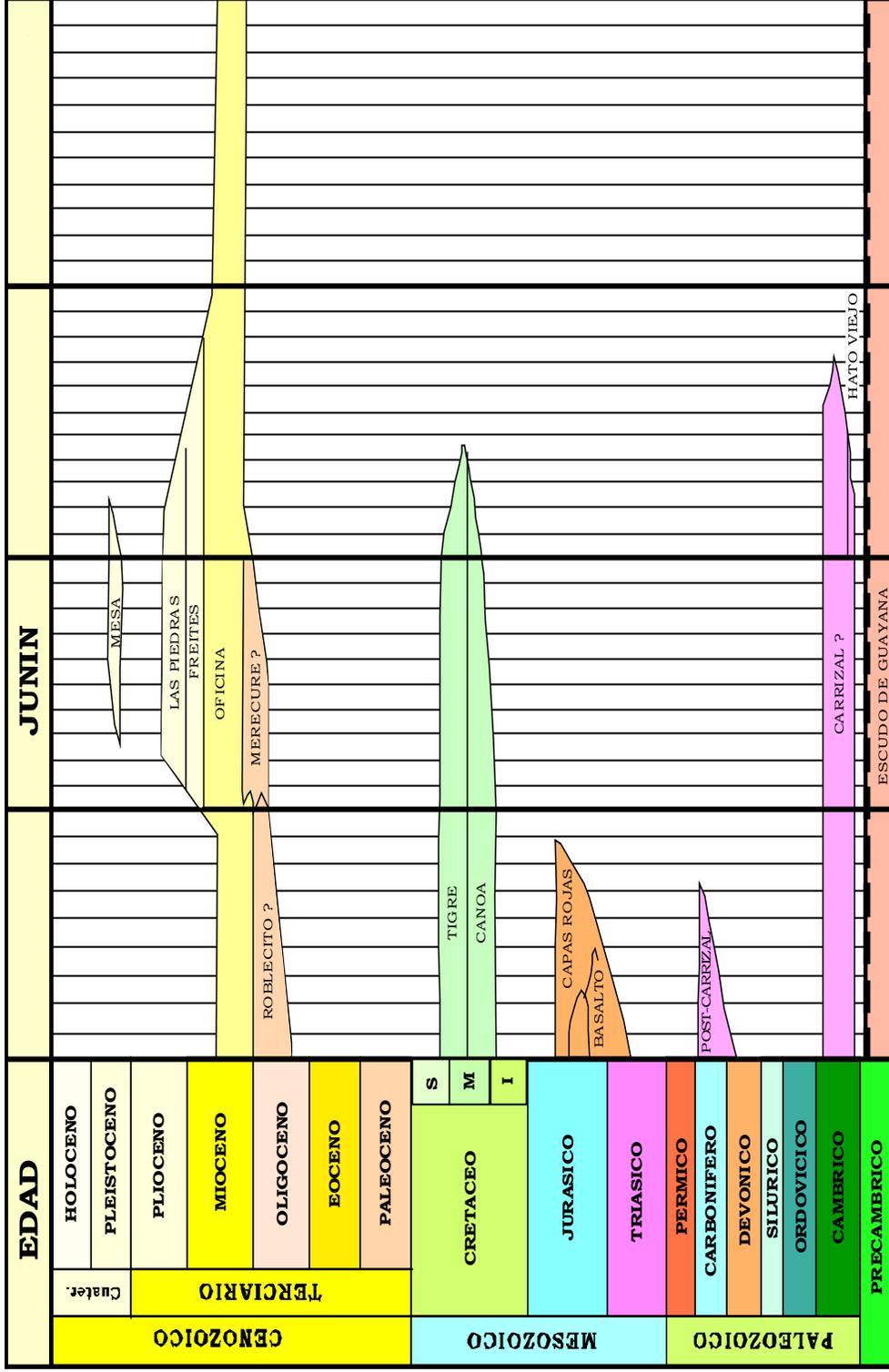


Figura A.1 Cuadro de Correlación del área.

Fuente: Informe Técnico del Modelo Geológico del bloque Junín 6. (PDVSA).

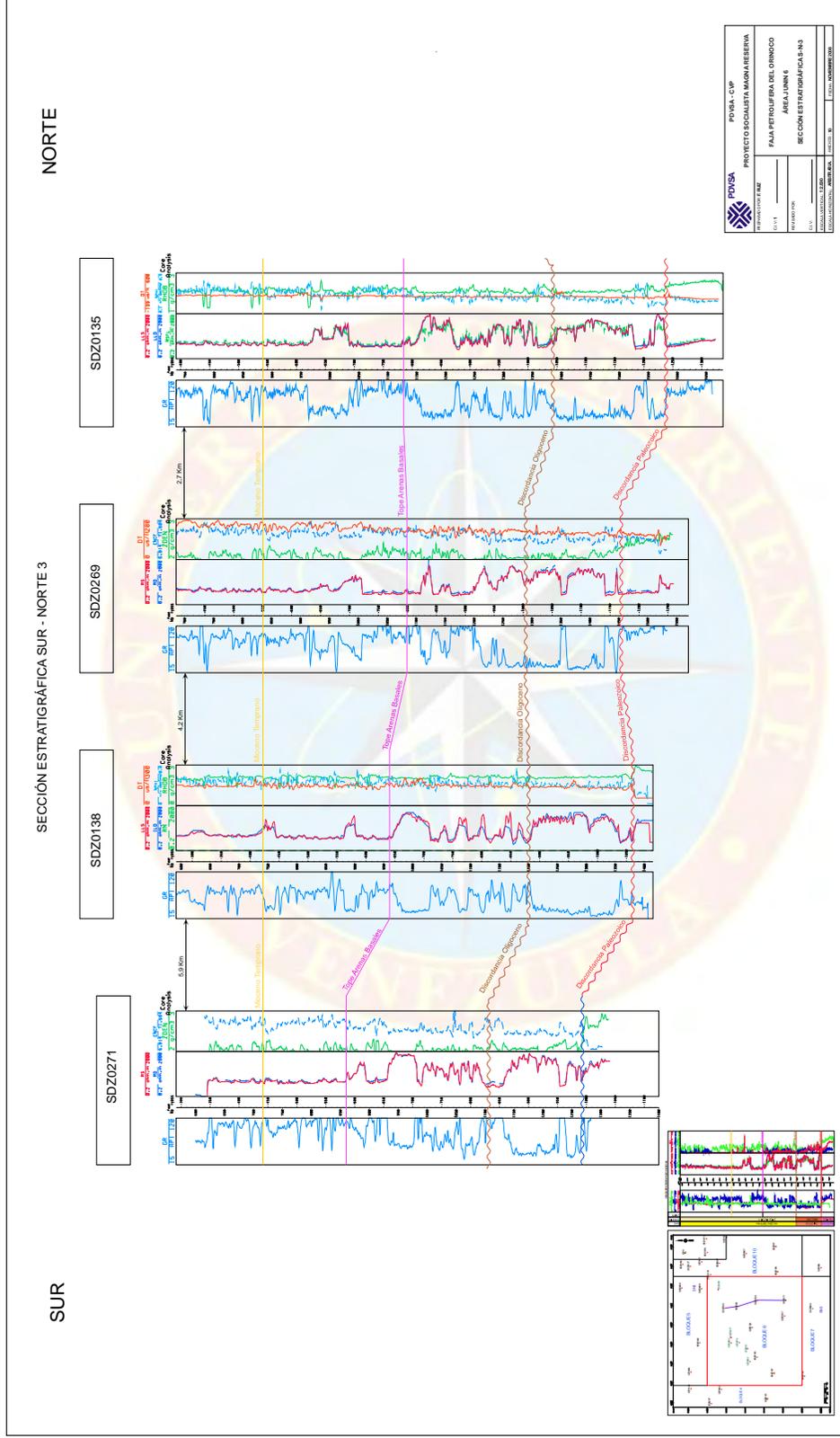


Figura A.2: Sección estratigráfica norte-sur de las unidades definidas en el bloque Junín 6.

Fuente: Informe final de geología bloque Junín 6, modelo estratigráfico (2009)

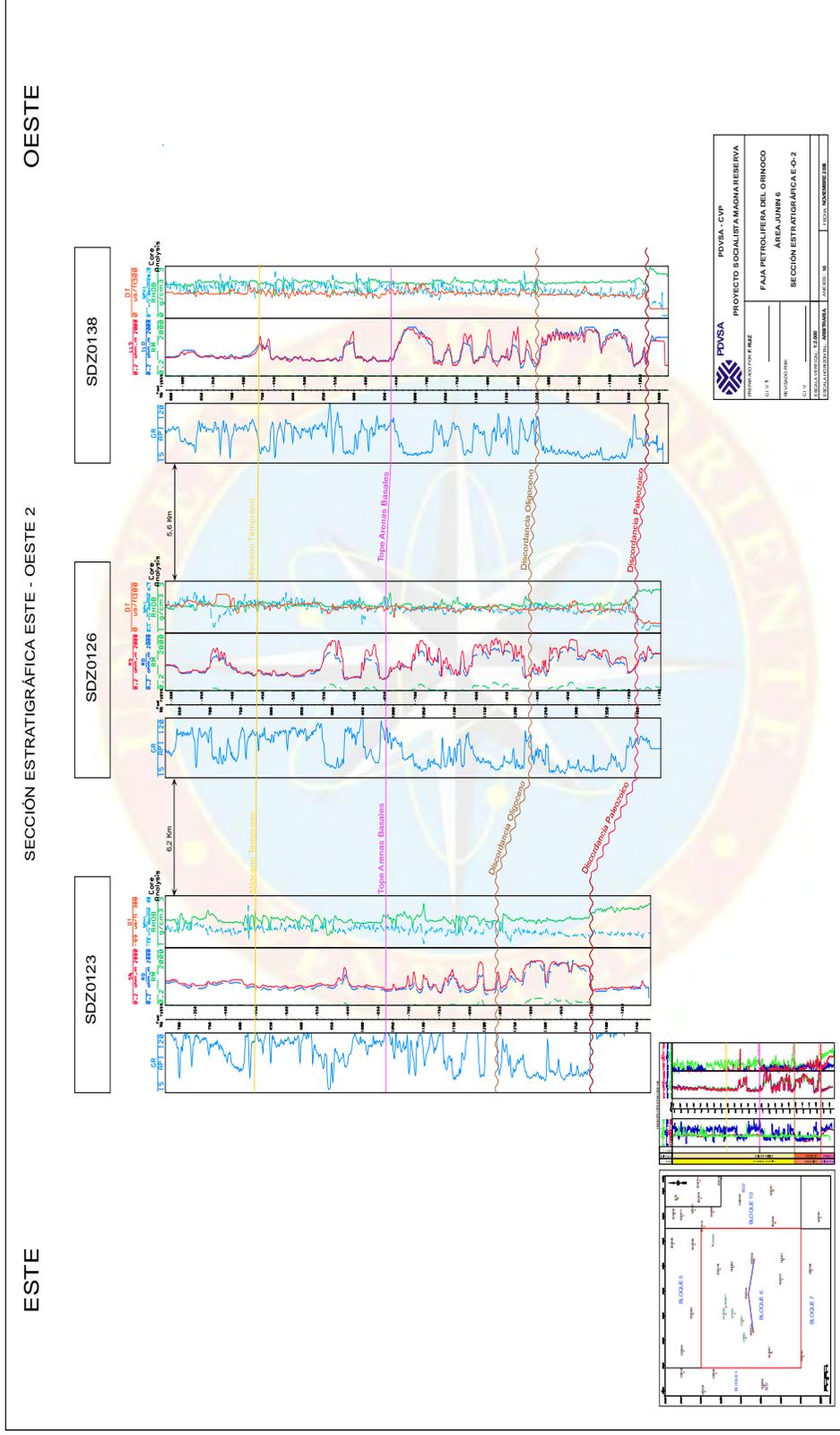


Figura A.3: Sección estratigráfica este-oeste de las unidades definidas en el bloque Junín 6.

Fuente: Informe final de geología bloque Junín 6, modelo estratigráfico (2009)

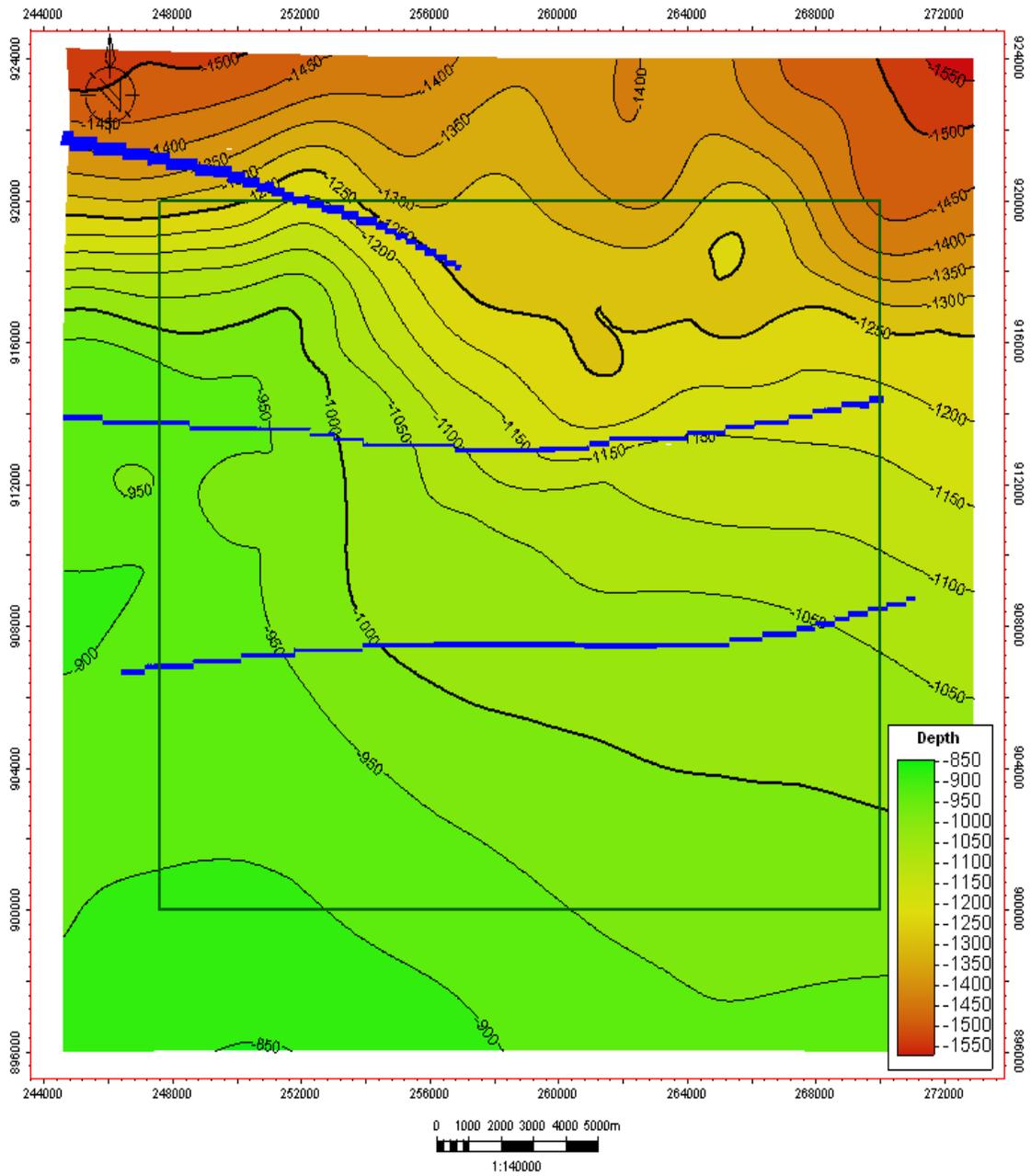


Figura A.5. Representación del bloque Junín 6 y área externa (color negro)

Fuente: Informe Junín 6, Modelo geológico (2009)

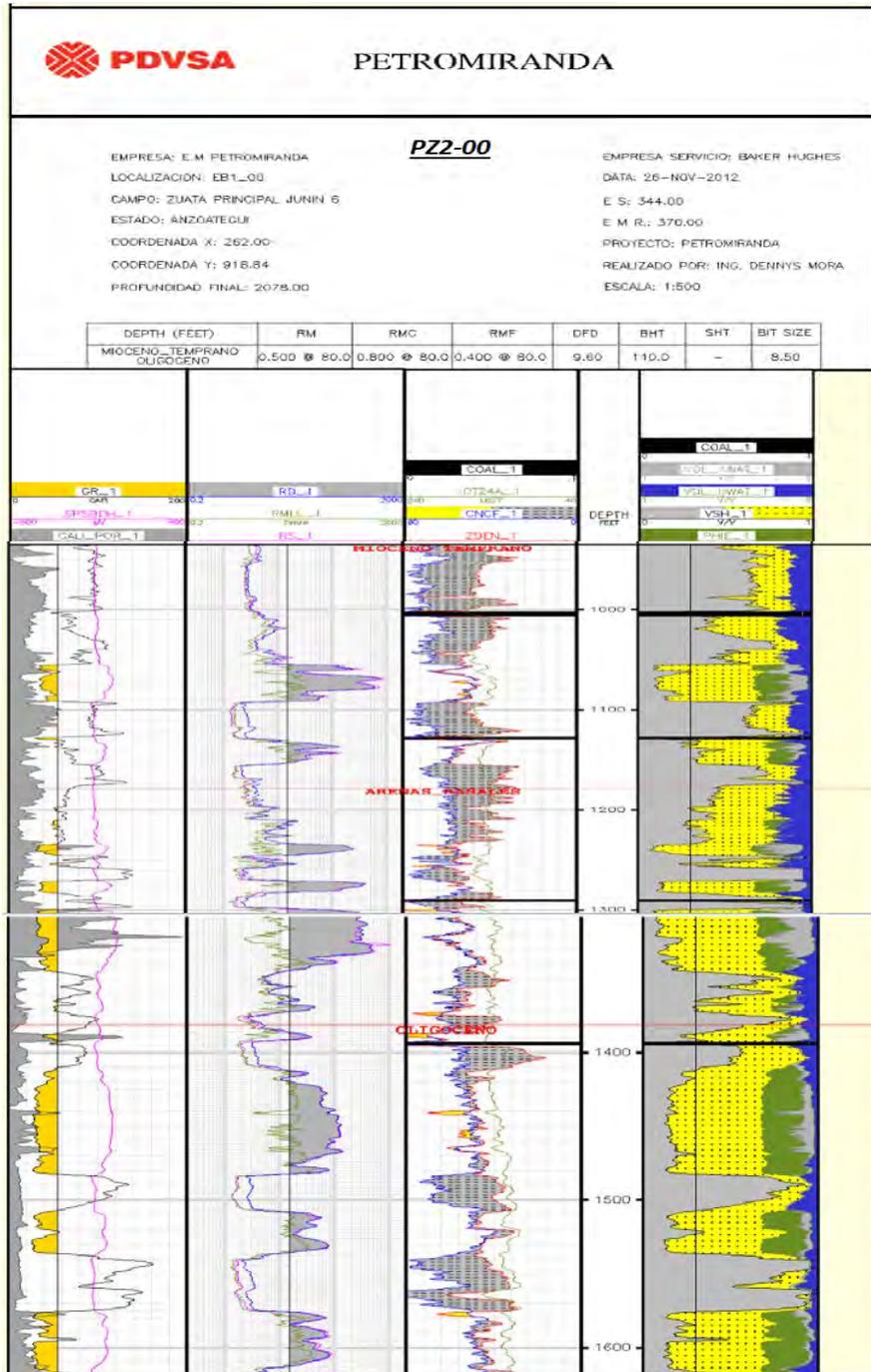


Figura A.7 Estudio Petrofísico del Pozo PZ2-00, Campo Zuata.

Fuente: Modelo Petrofísico, bloque Junín 6 (2012).

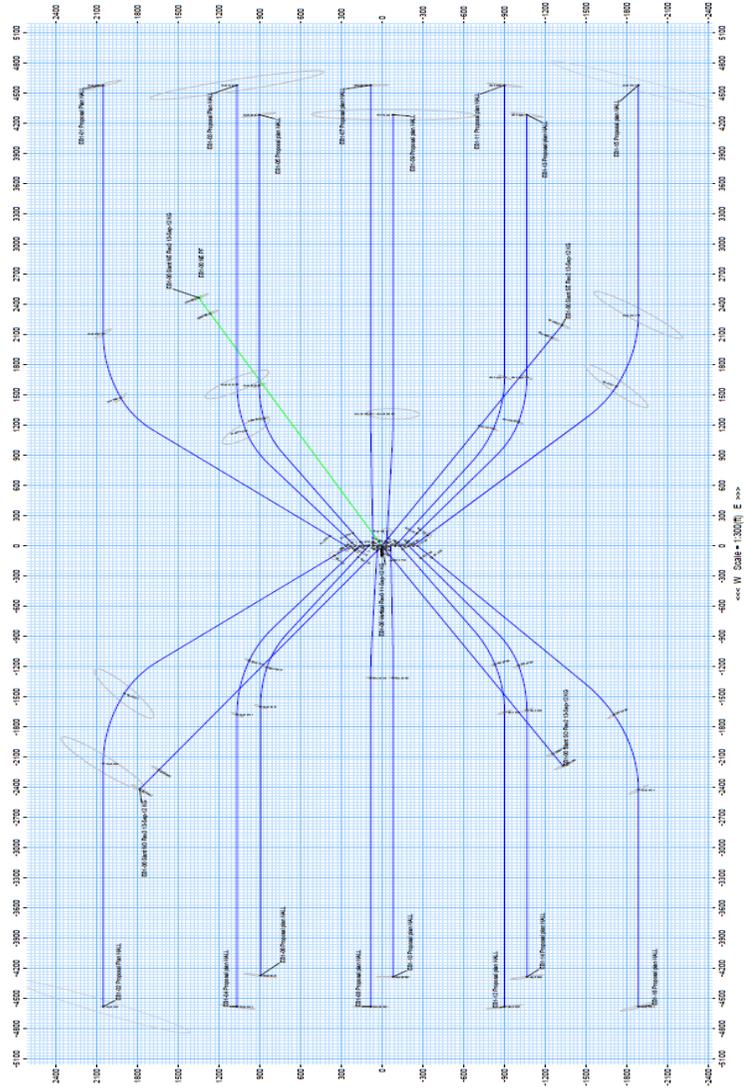
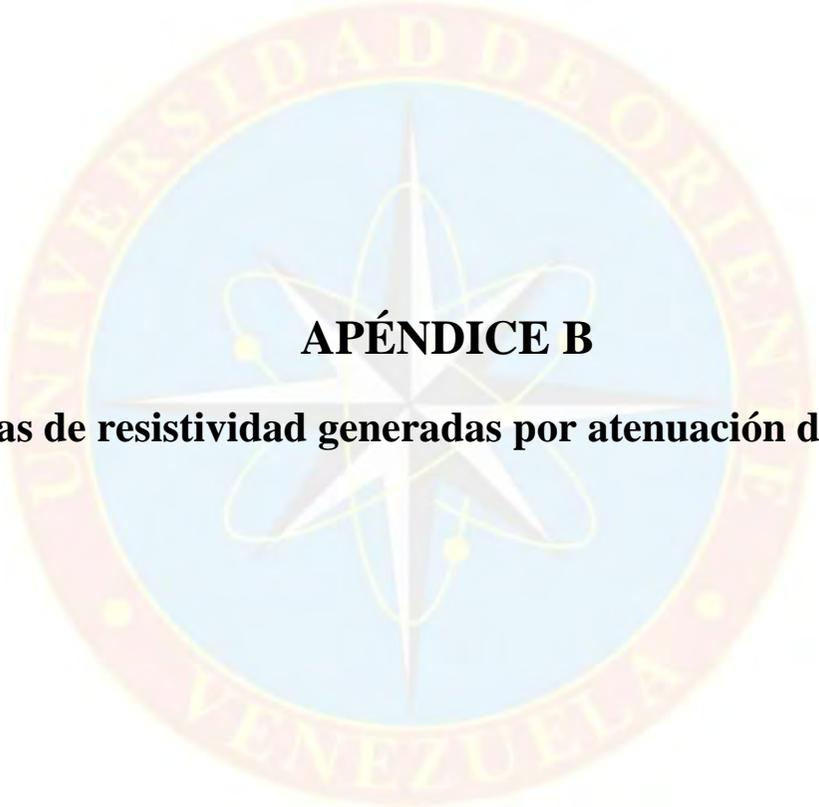


Fig A.8. Plan direccional del bloque Junin 6.

Fuente: Informe direccional del bloque Junin 6. Schlumberger

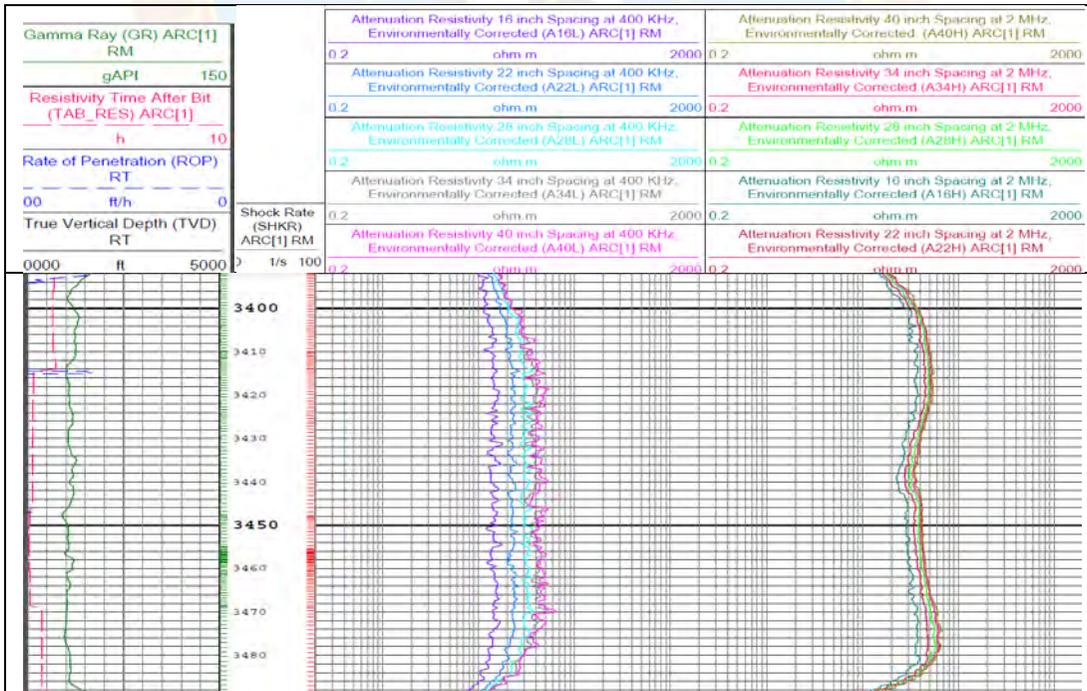
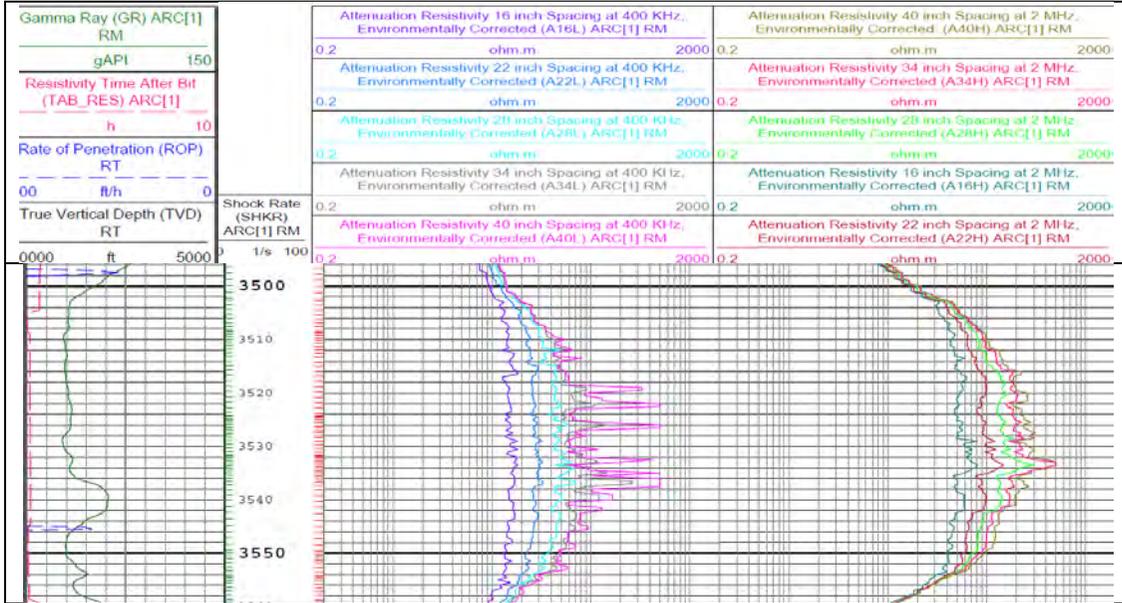


APÉNDICE B

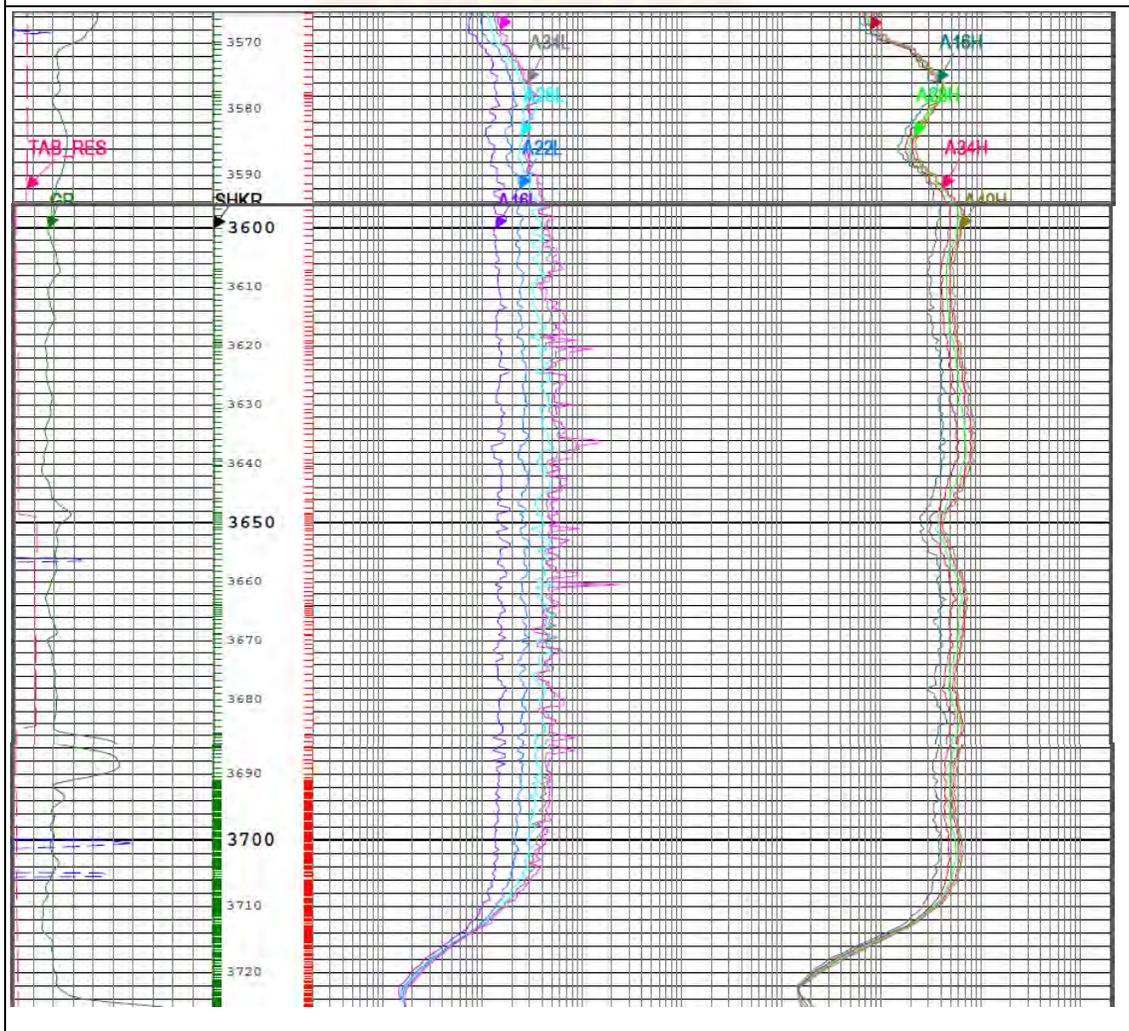
Curvas de resistividad generadas por atenuación de la onda.

PZ1-00

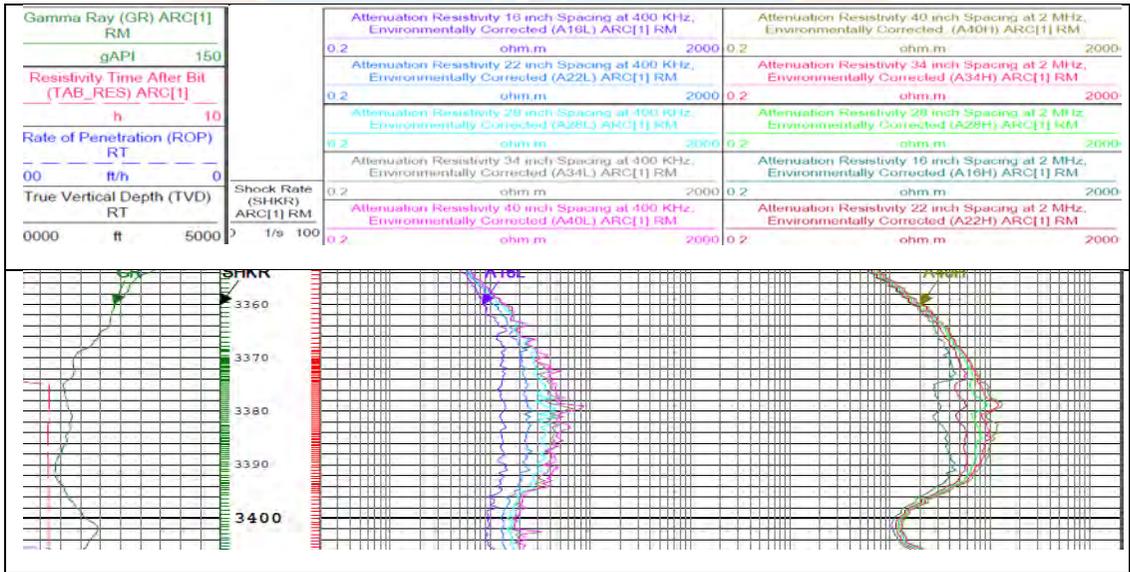
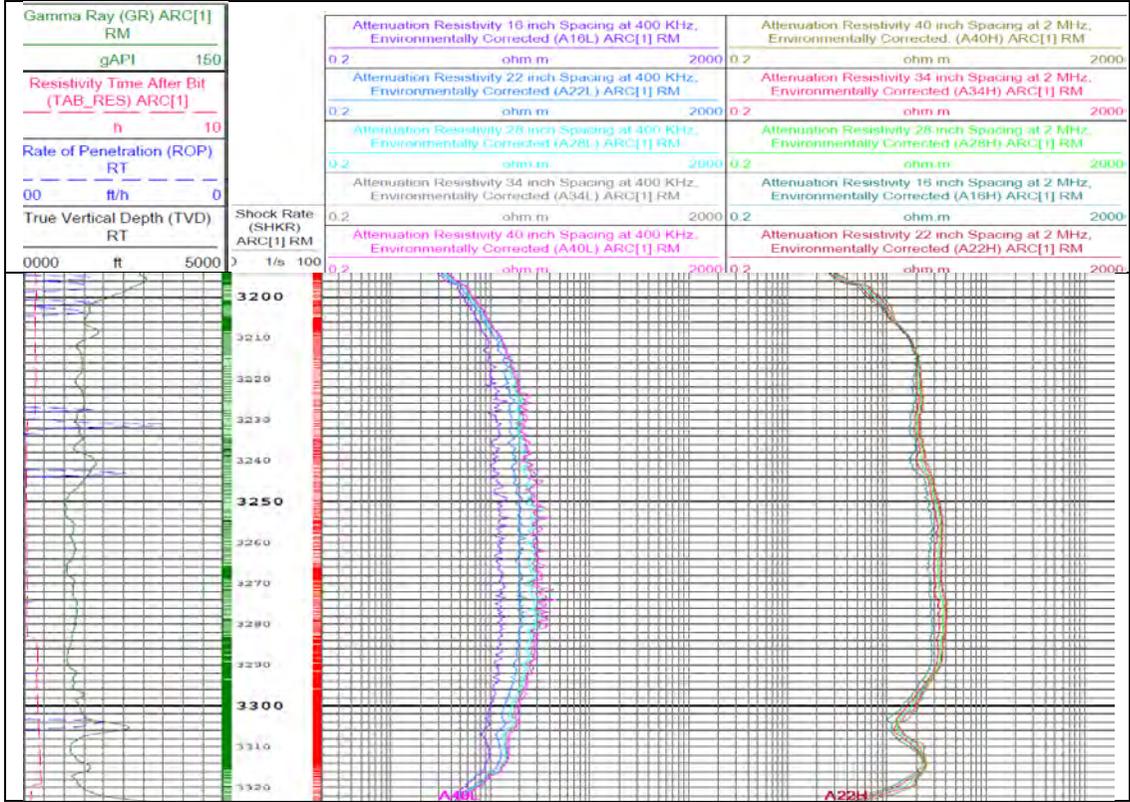
PZ1-00NE

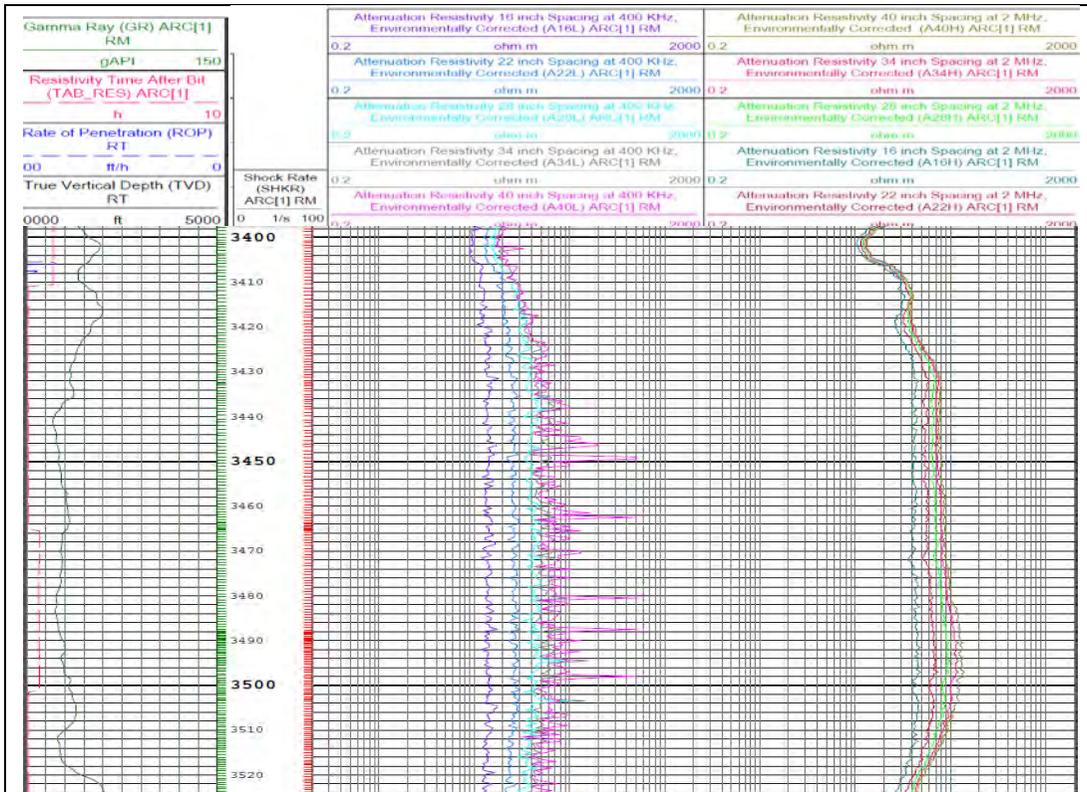


| | | |
|--|---|---|
| Gamma Ray (GR) ARC[1] RM | Attenuation Resistivity 16 inch Spacing at 400 KHz, Environmentally Corrected (A16L) ARC[1] RM | Attenuation Resistivity 40 inch Spacing at 2 MHz, Environmentally Corrected (A40H) ARC[1] RM |
| gAPI 150 | 0.2 ohm.m 2000 | 0.2 ohm.m 2000 |
| Resistivity Time After Bit (TAB_RES) ARC[1] | Attenuation Resistivity 22 inch Spacing at 400 KHz, Environmentally Corrected (A22L) ARC[1] RM | Attenuation Resistivity 34 inch Spacing at 2 MHz, Environmentally Corrected (A34H) ARC[1] RM |
| h 10 | 0.2 ohm.m 2000 | 0.2 ohm.m 2000 |
| Rate of Penetration (ROP) RT | Attenuation Resistivity 28 inch Spacing at 400 KHz, Environmentally Corrected (A28L) ARC[1] RM | Attenuation Resistivity 28 inch Spacing at 2 MHz, Environmentally Corrected (A28H) ARC[1] RM |
| 00 ft/h 0 | 0.2 ohm.m 2000 | 0.2 ohm.m 2000 |
| True Vertical Depth (TVD) RT | Attenuation Resistivity 34 inch Spacing at 400 KHz, Environmentally Corrected (A34L) ARC[1] RM | Attenuation Resistivity 16 inch Spacing at 2 MHz, Environmentally Corrected (A16H) ARC[1] RM |
| 0000 ft 5000 | 0.2 ohm.m 2000 | 0.2 ohm.m 2000 |
| | Shock Rate (SHKR) ARC[1] RM | |
| | 0.2 ohm.m 2000 | 0.2 ohm.m 2000 |
| | Attenuation Resistivity 40 inch Spacing at 400 KHz, Environmentally Corrected (A40L) ARC[1] RM | Attenuation Resistivity 22 inch Spacing at 2 MHz, Environmentally Corrected (A22H) ARC[1] RM |
| | 0.2 ohm.m 2000 | 0.2 ohm.m 2000 |

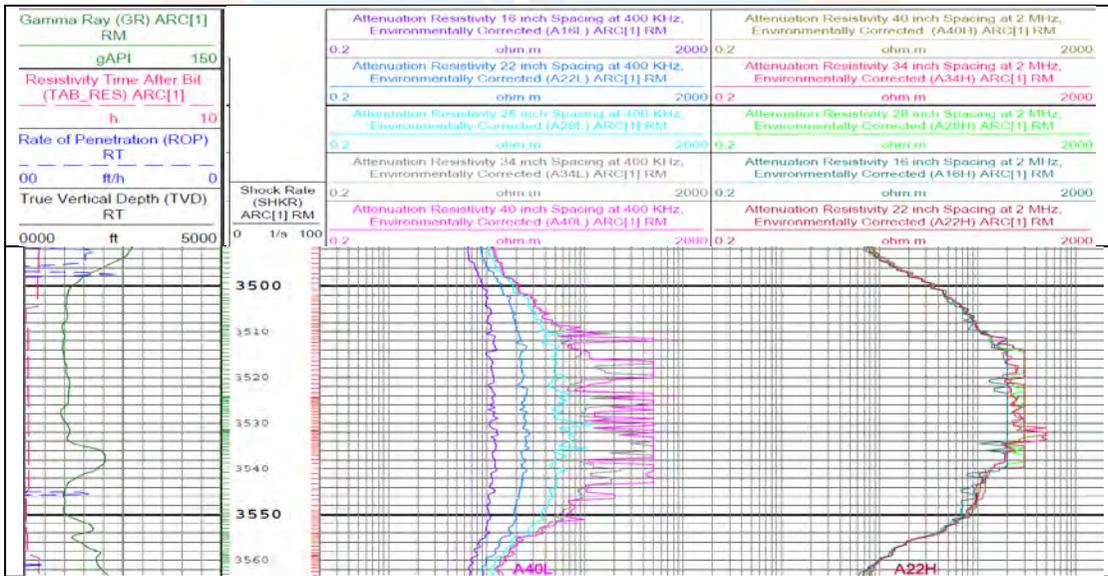


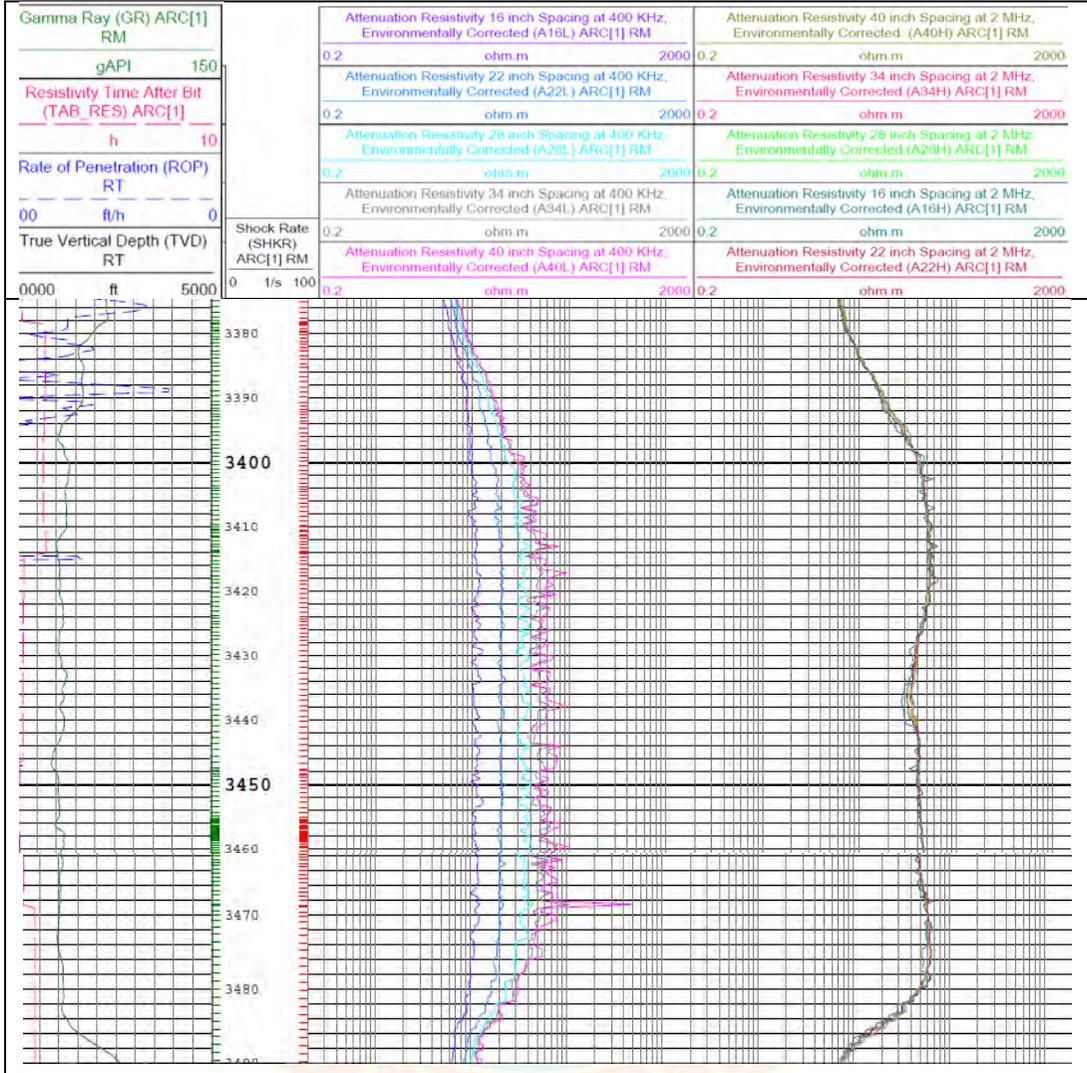
PZ1-00SO

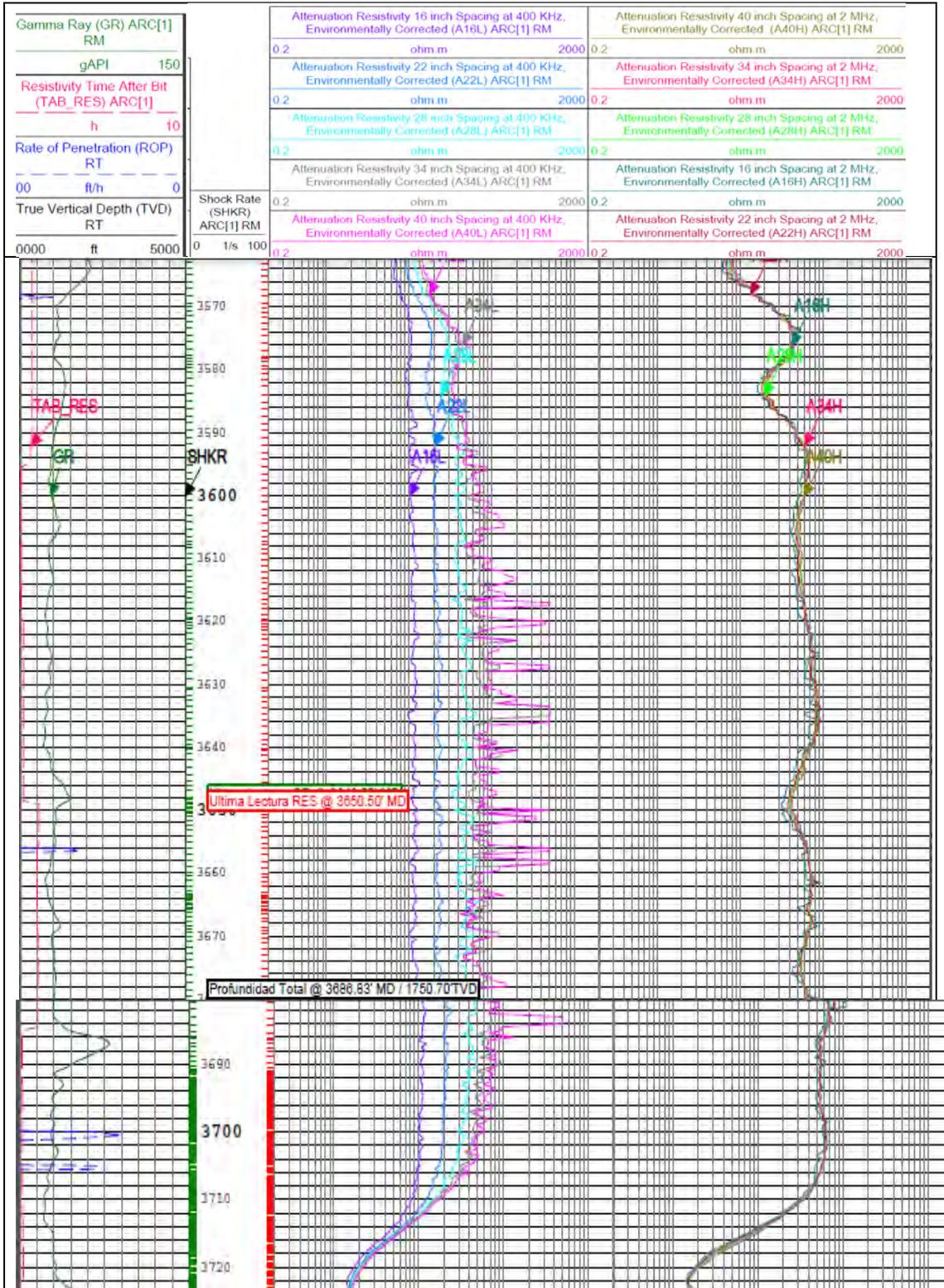




PZ1-00SE

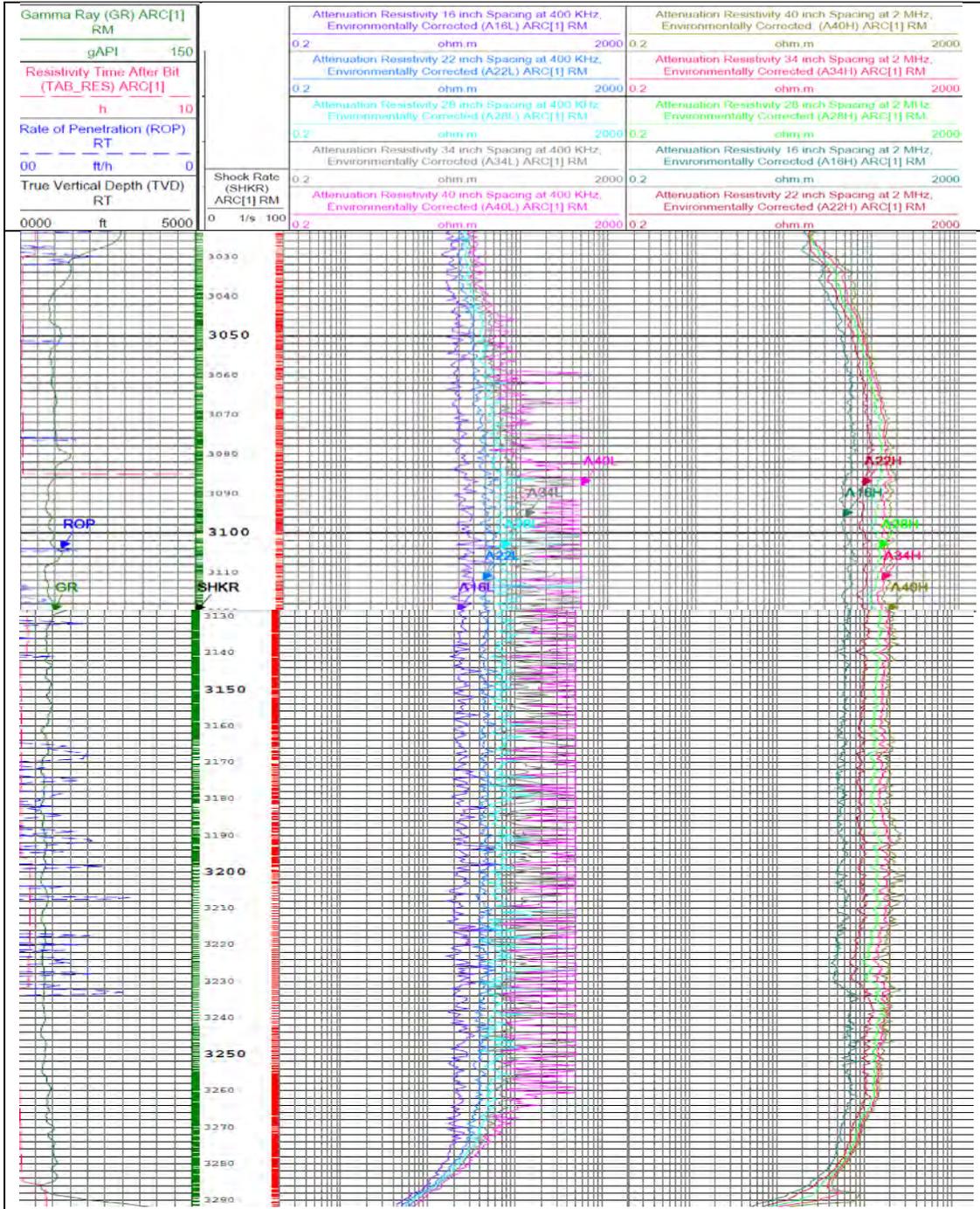


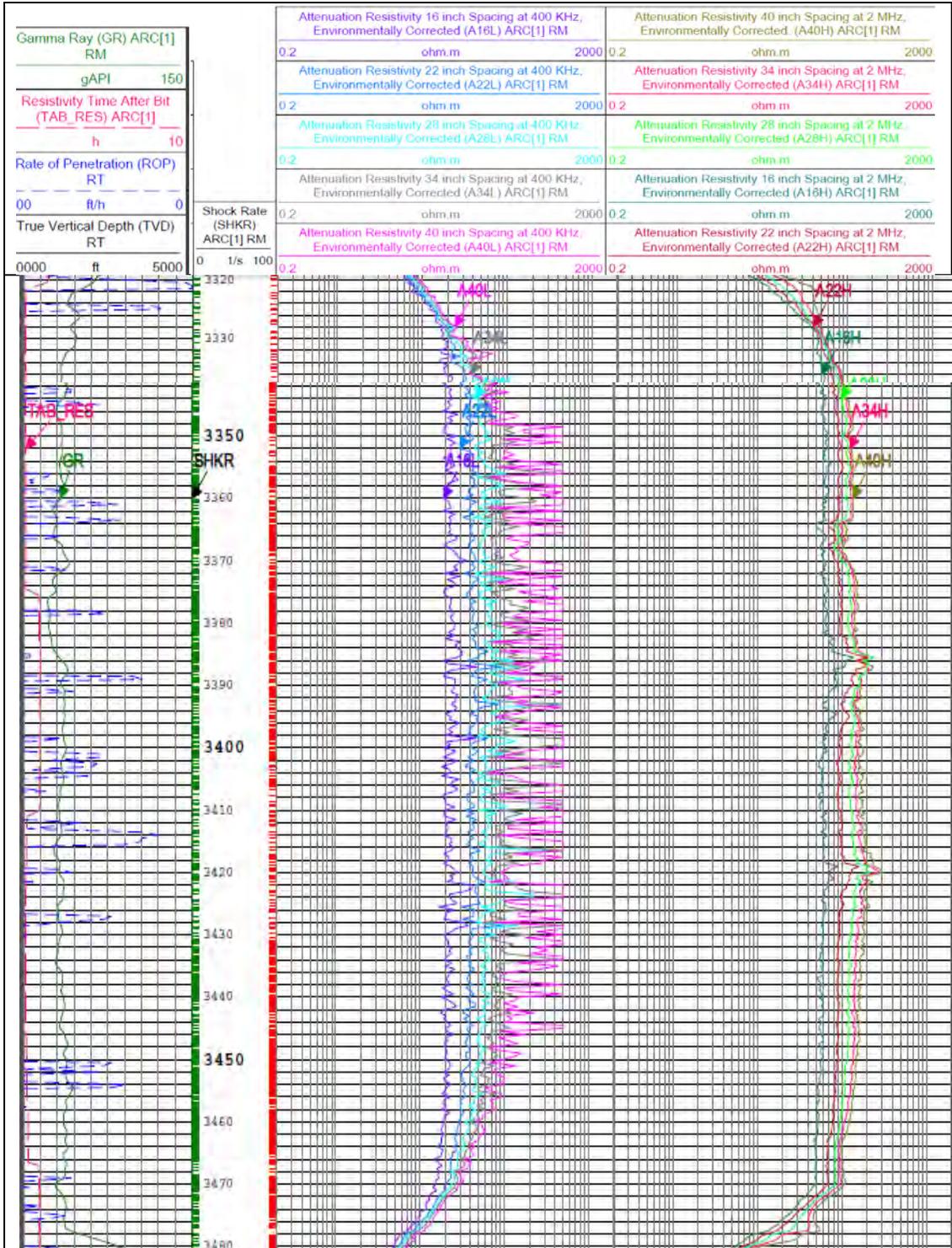


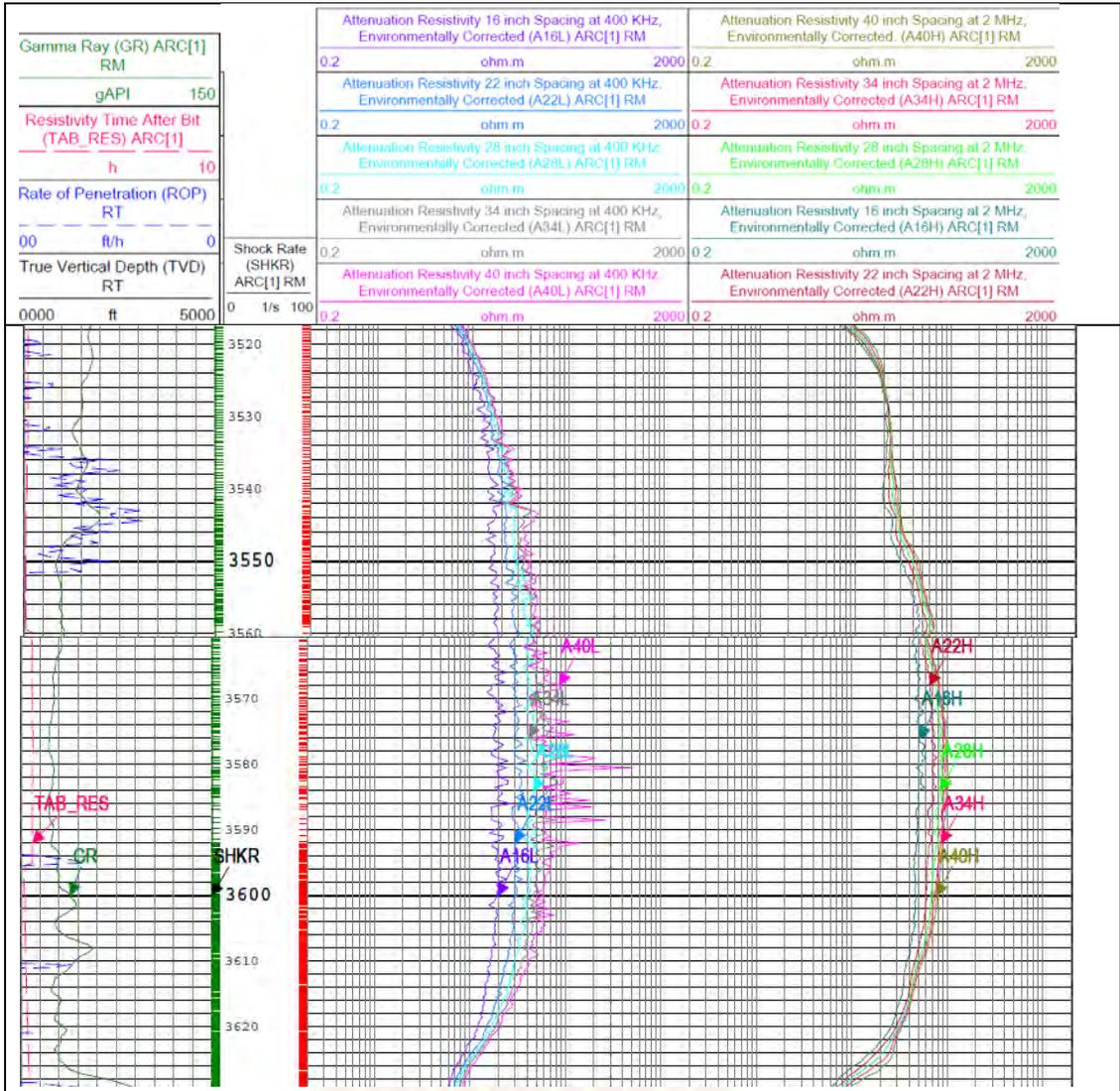


PZ2-00

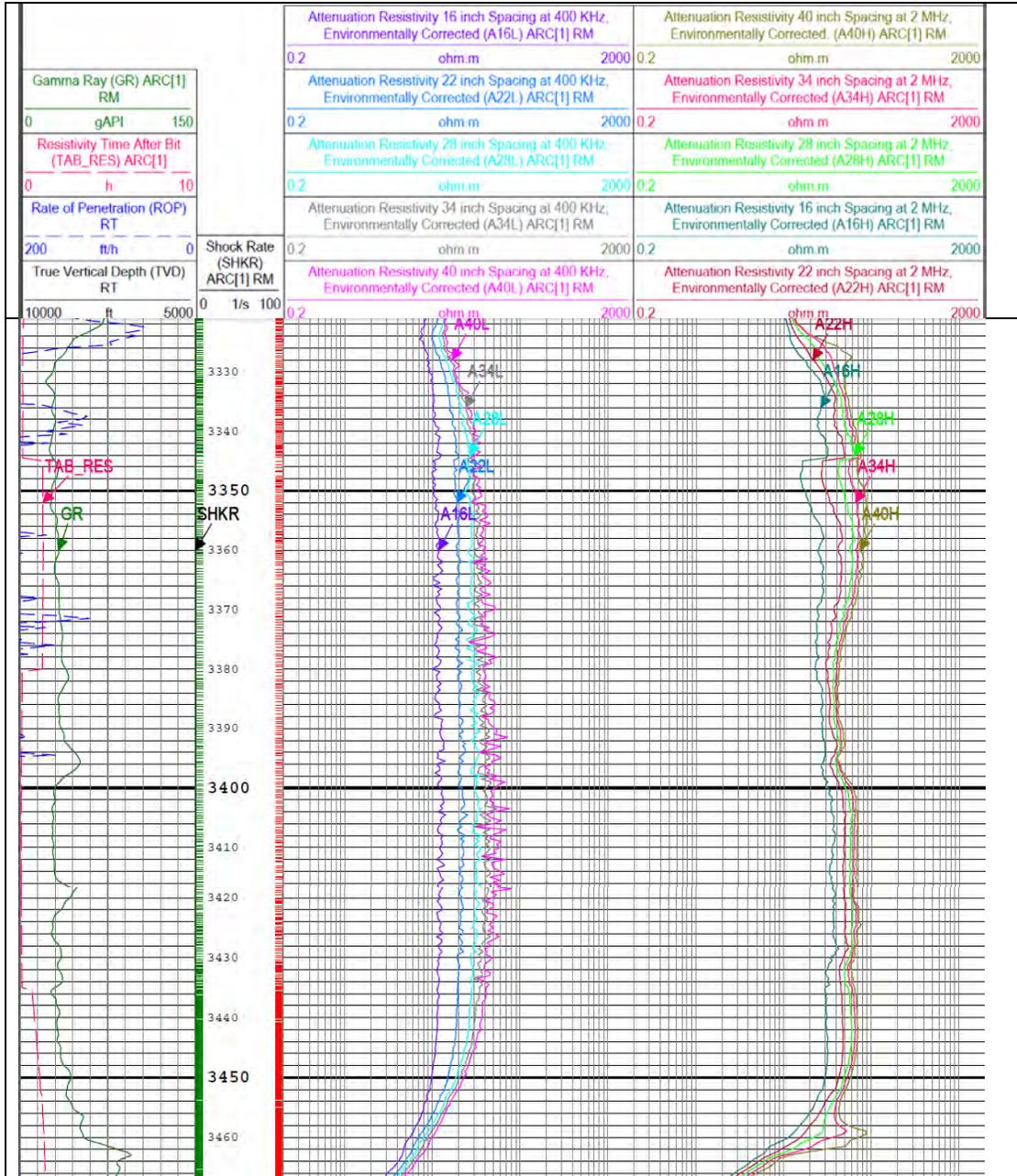
PZ2-00NE

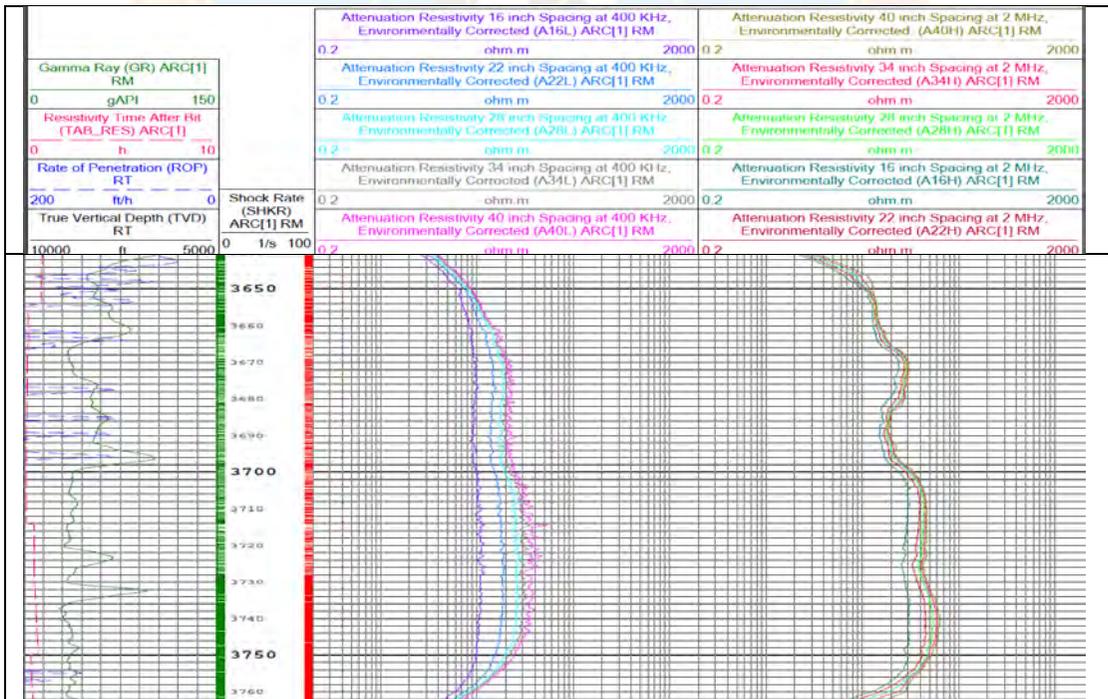
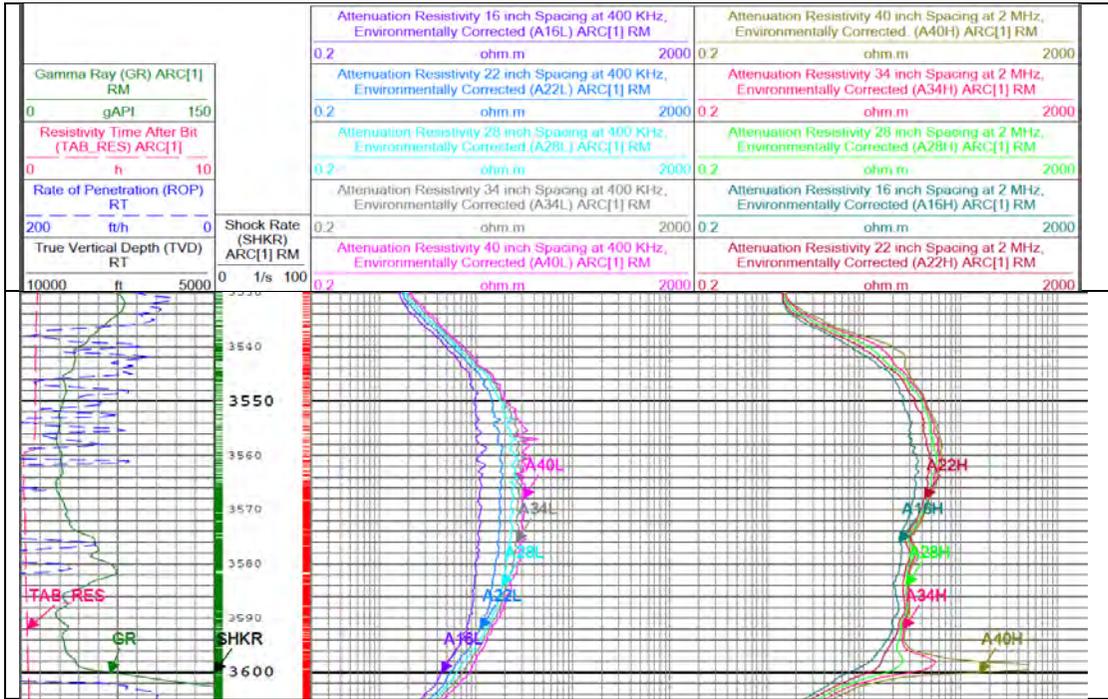




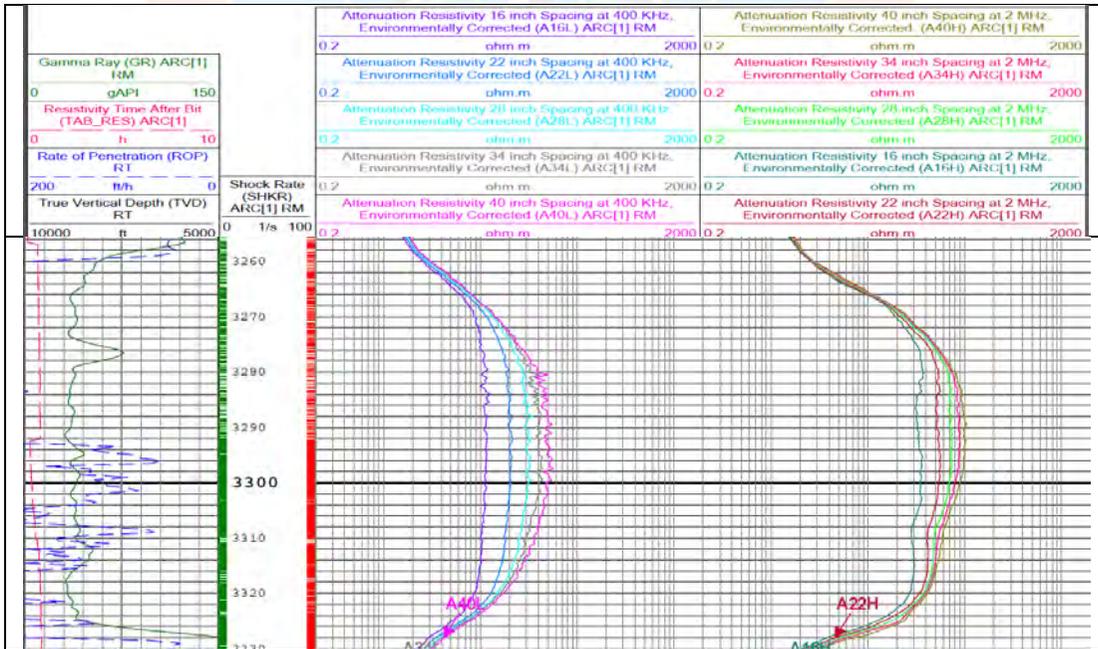
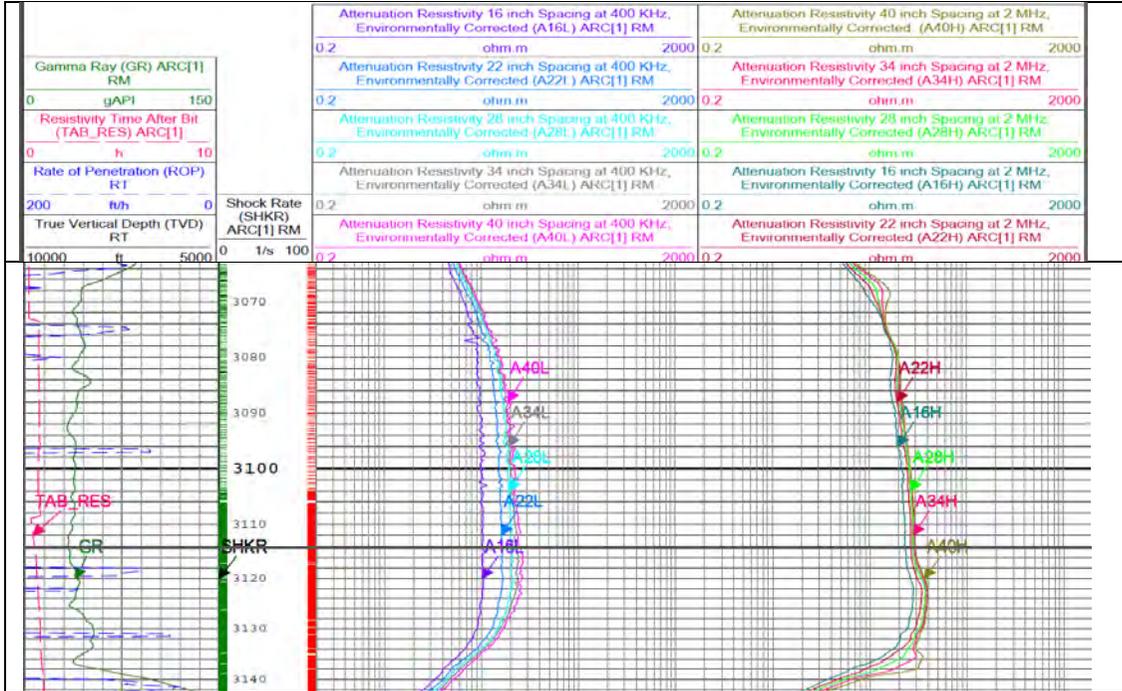


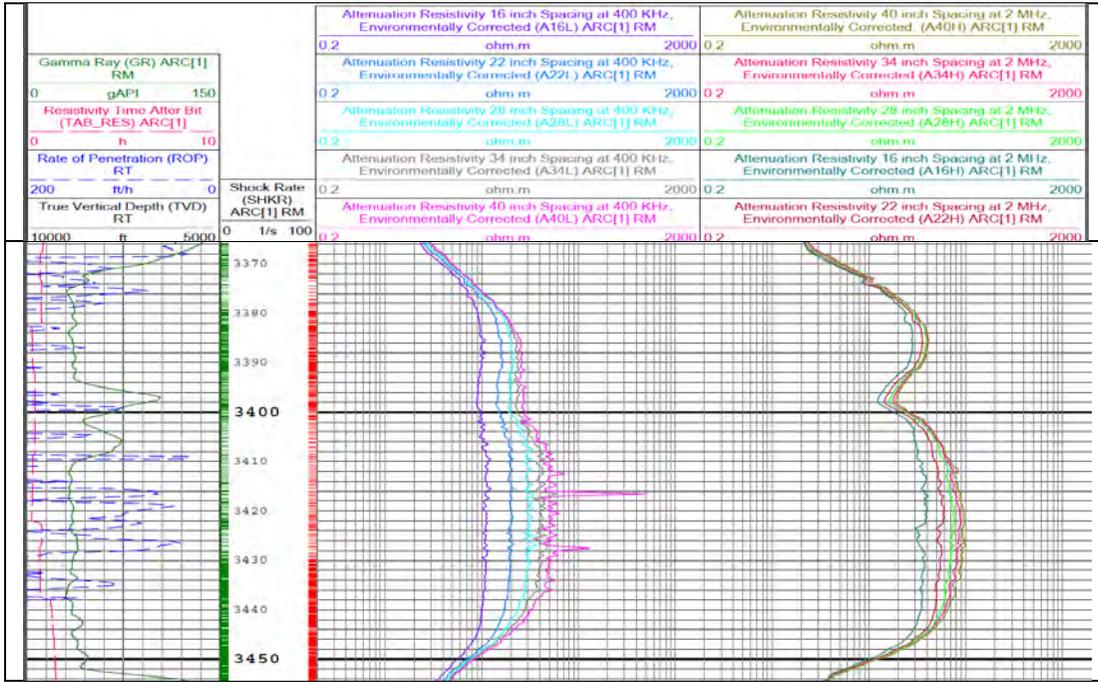
PZ2-00NO



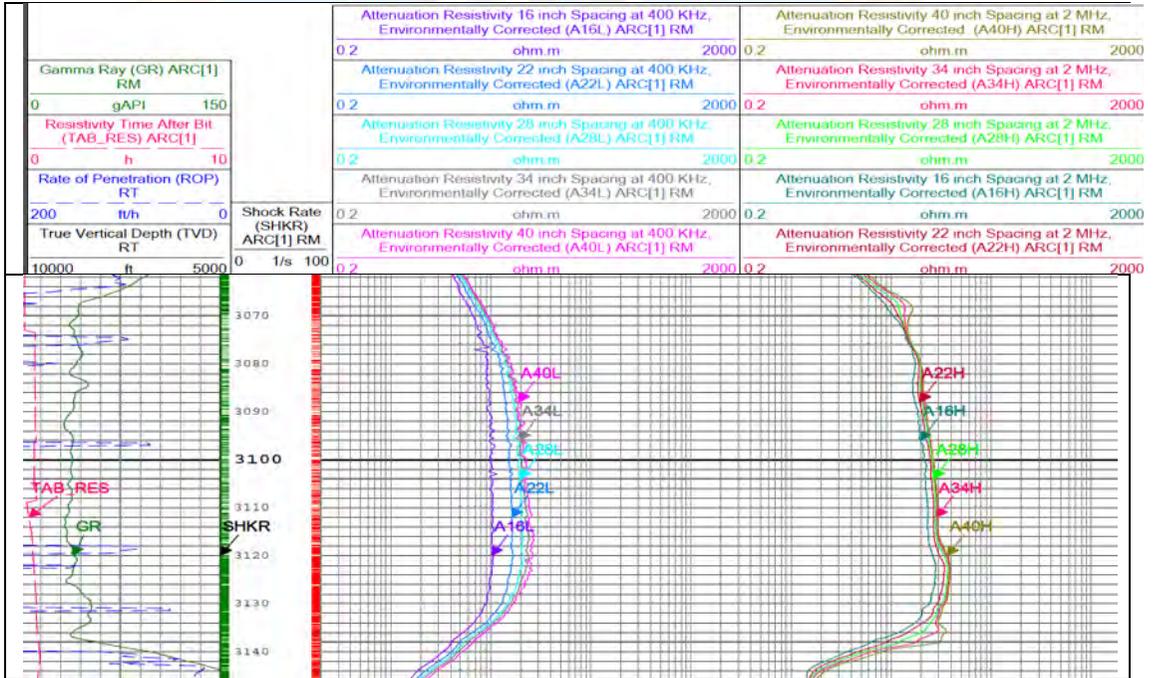


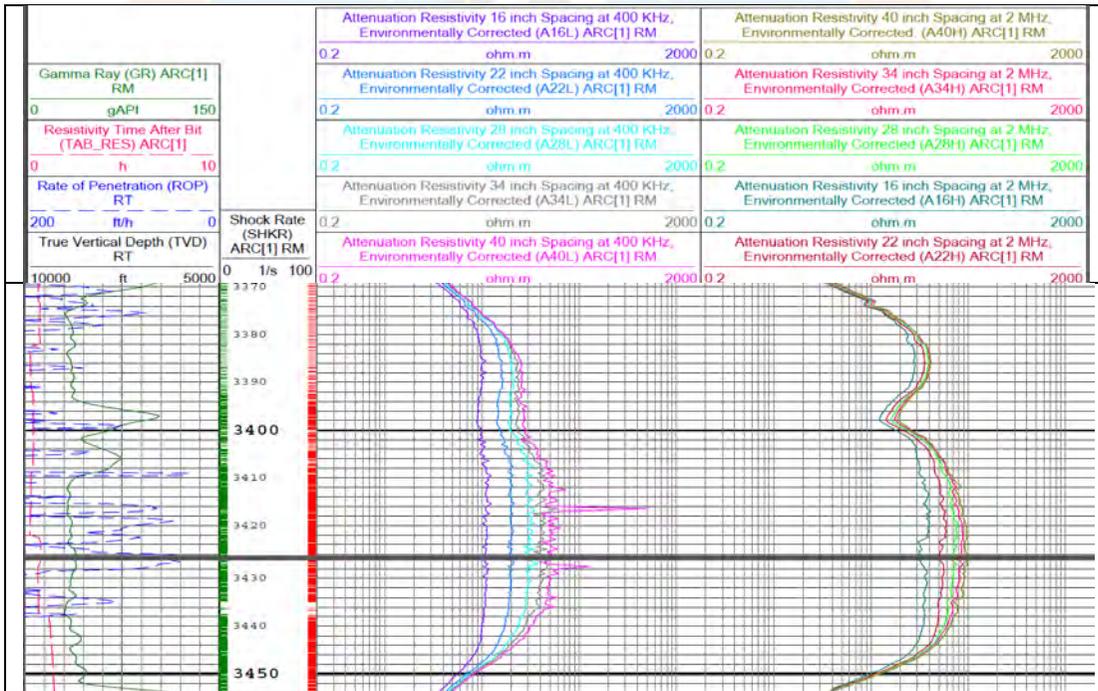
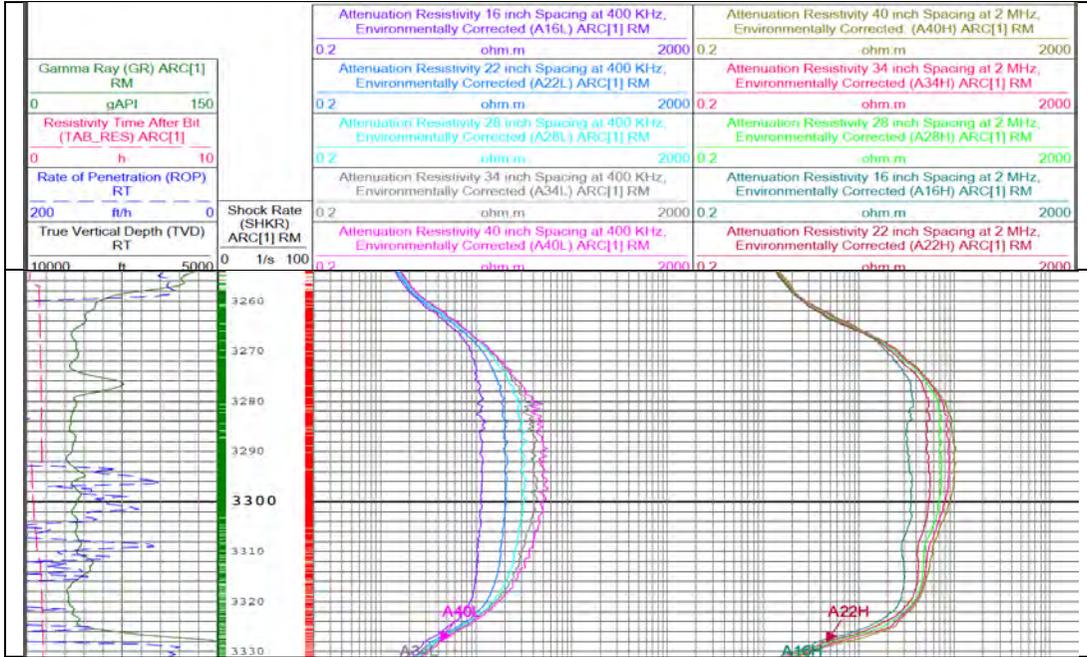
PZ2-0SE





PZ2-00SO

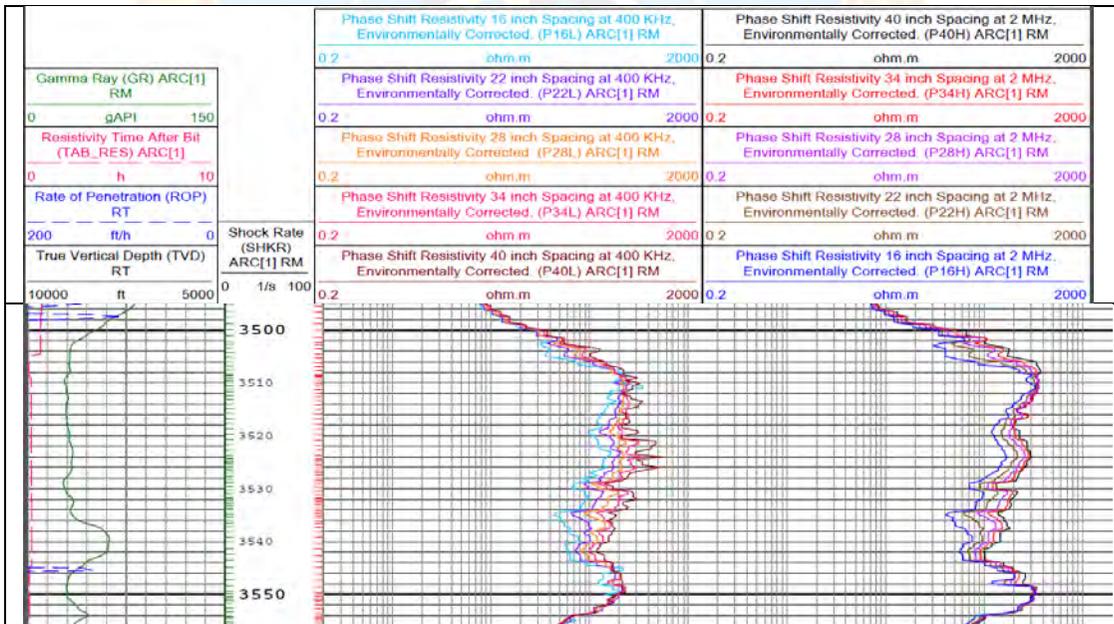
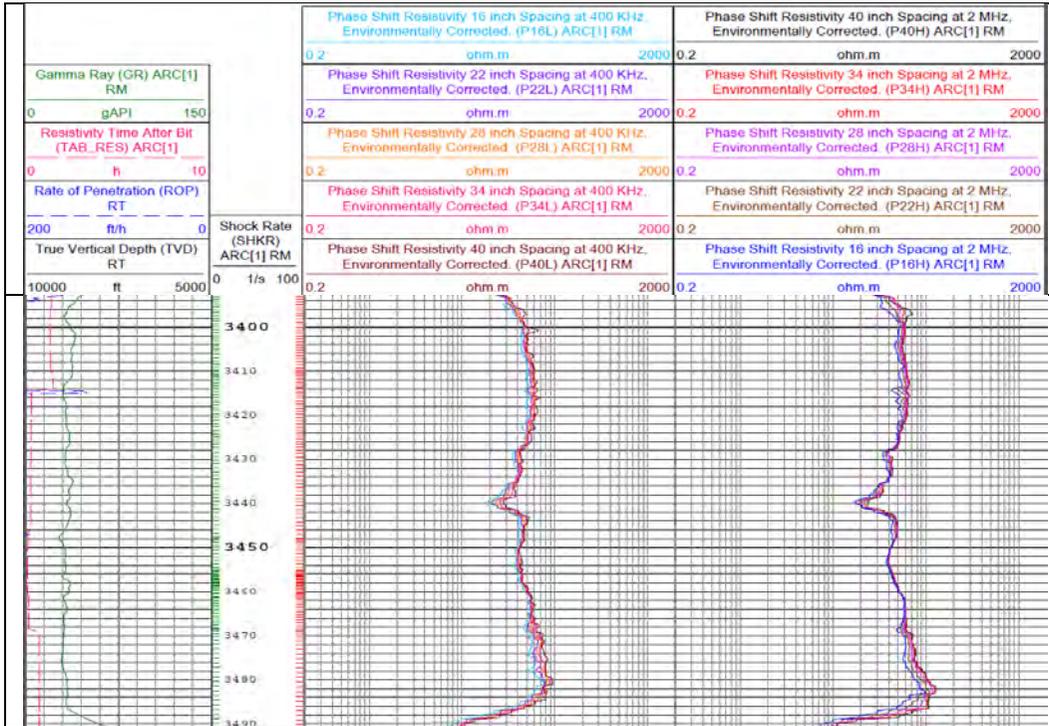


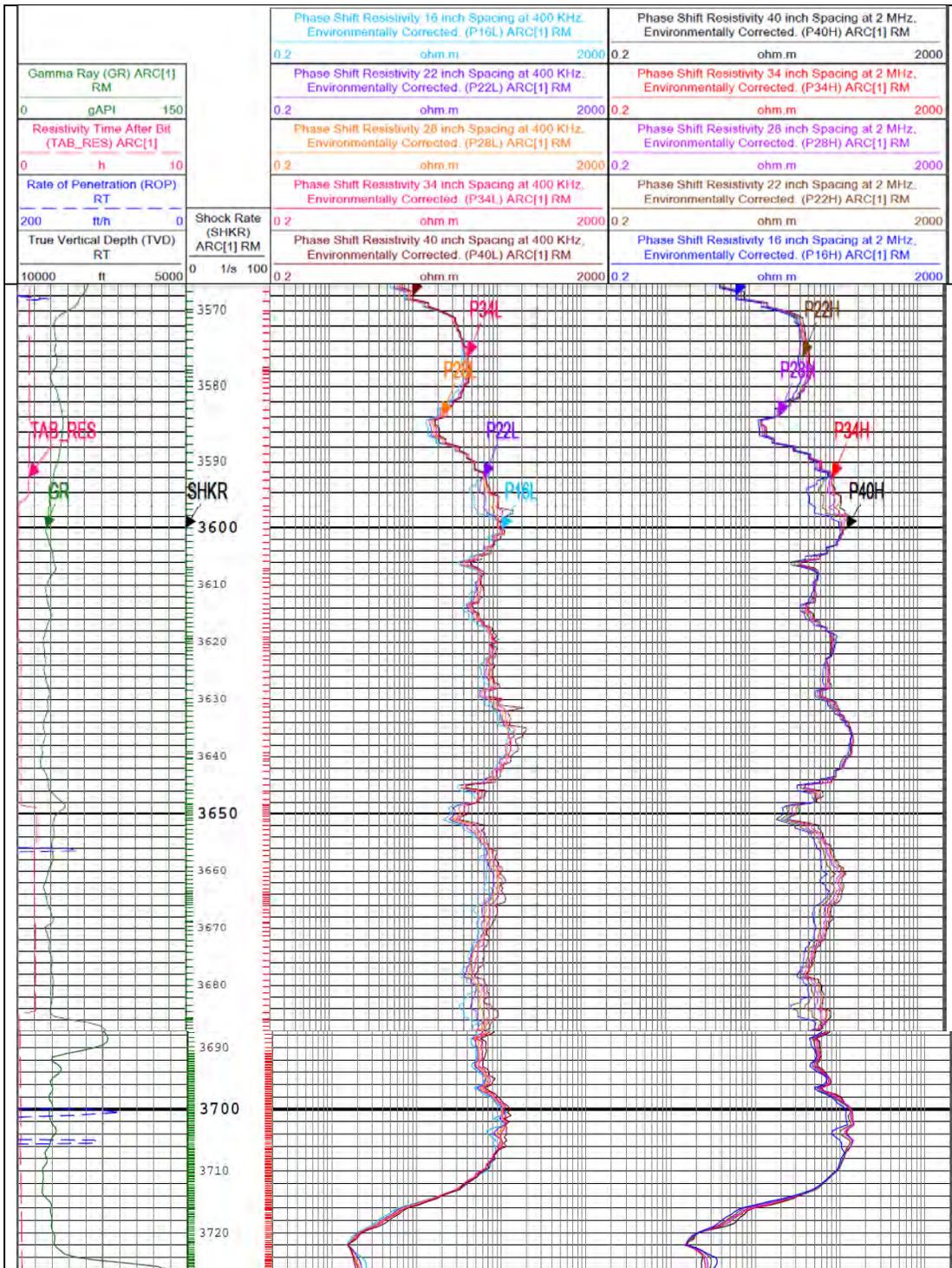




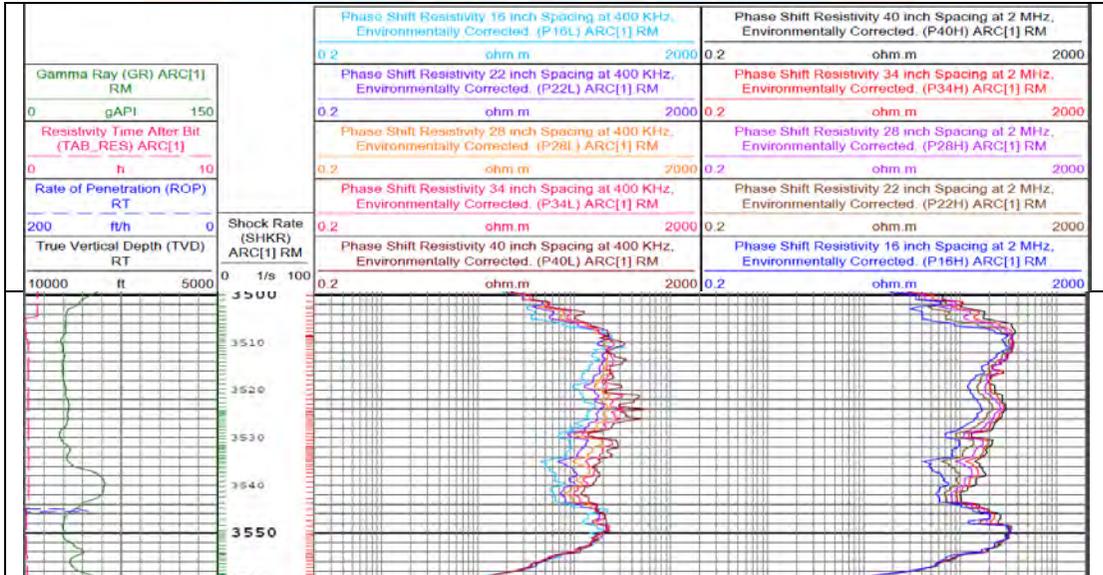
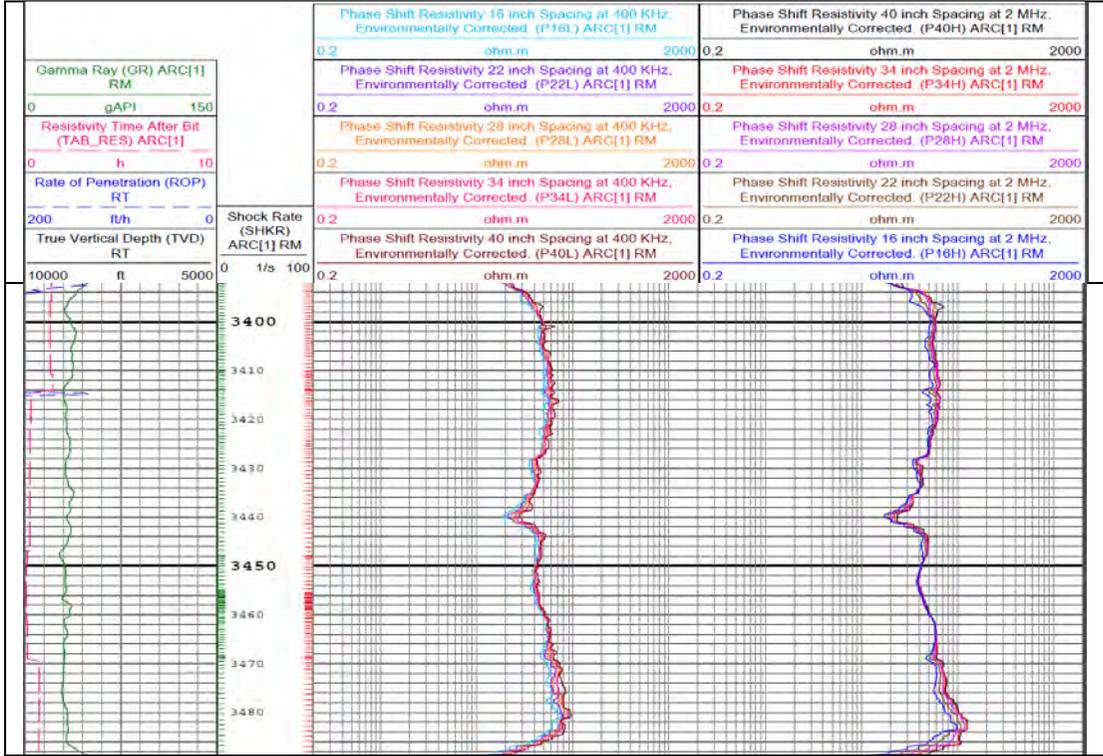
APÉNDICE C

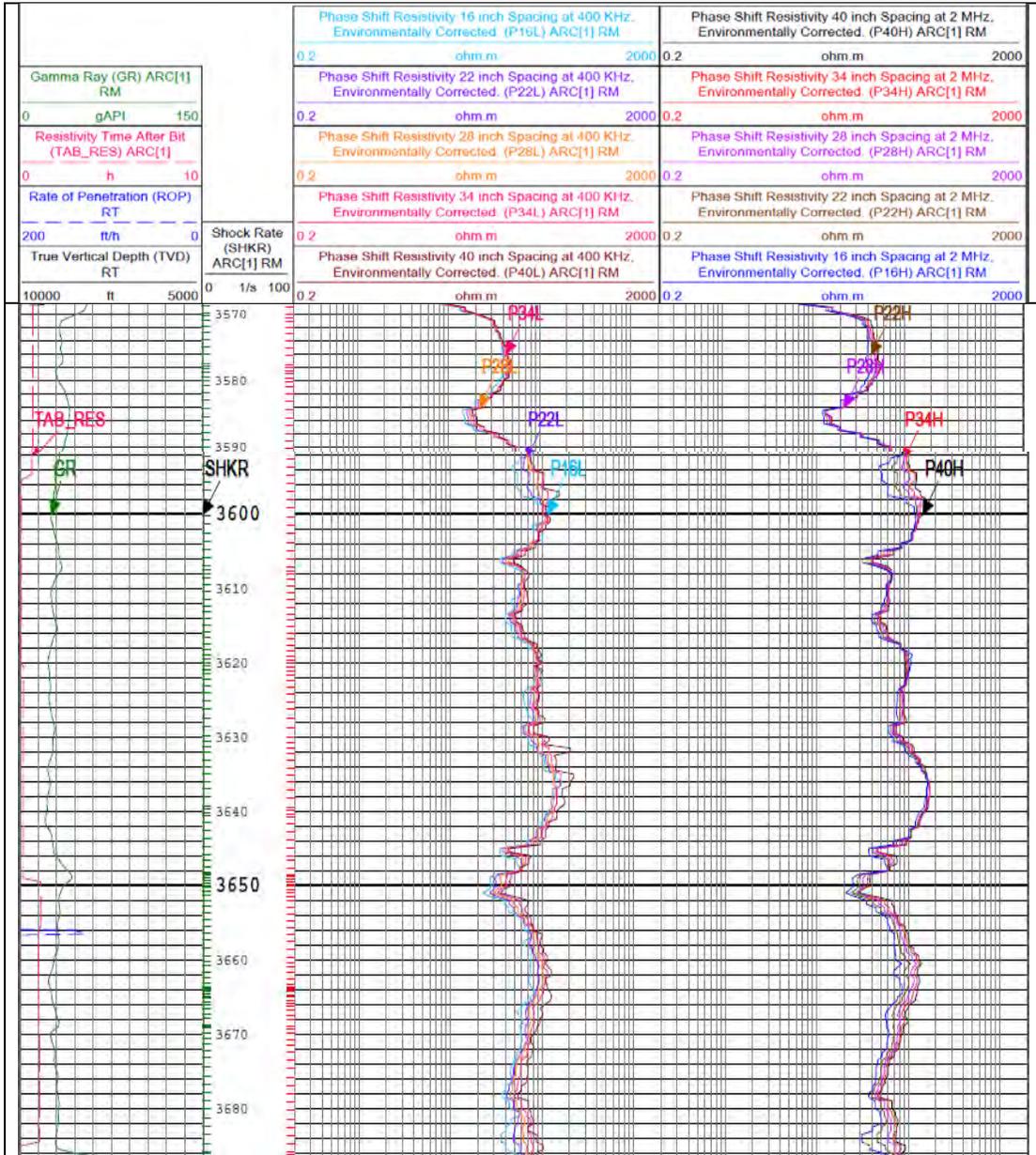
Curvas de resistividad obtenidas por desfase de la onda



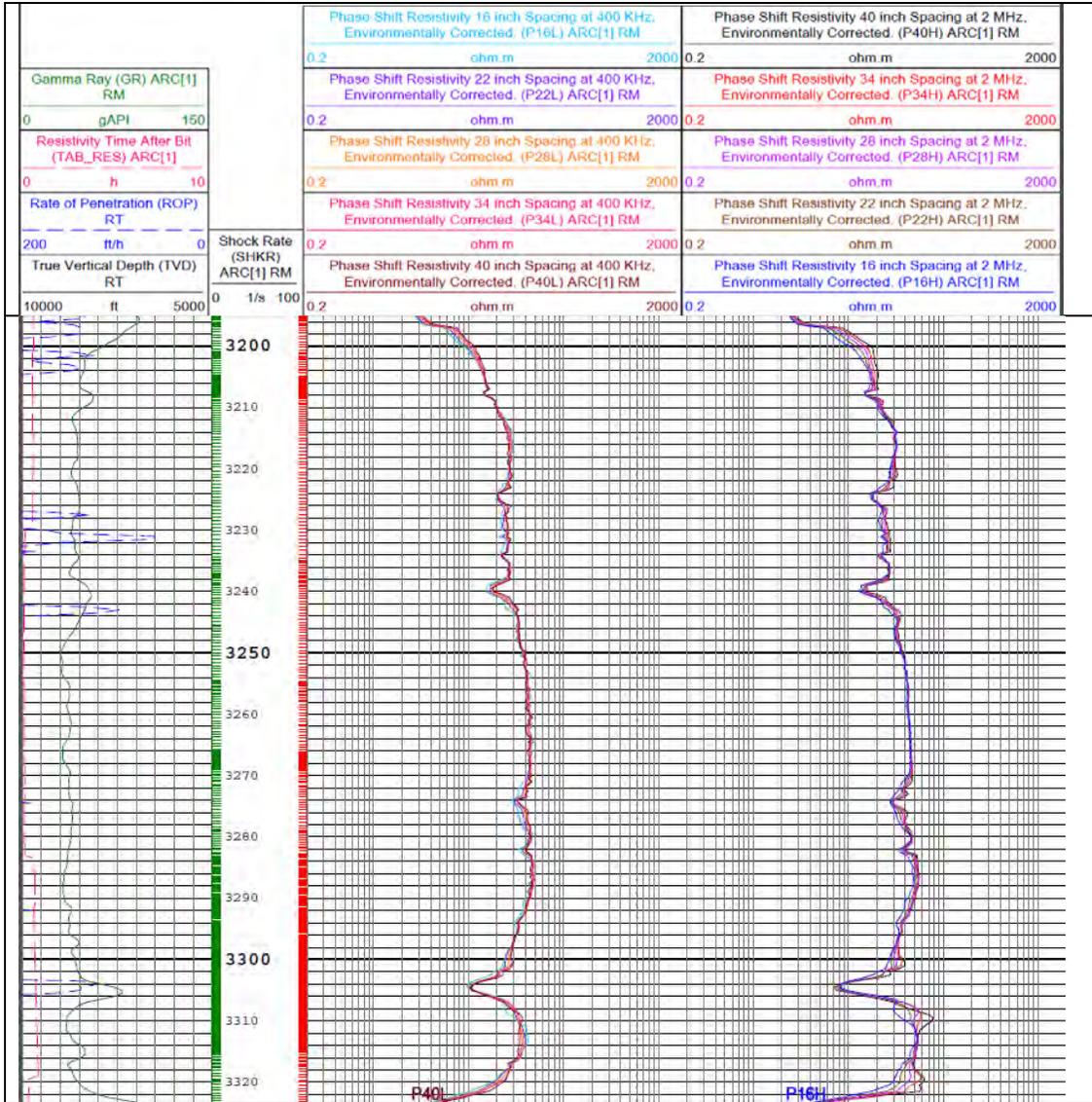


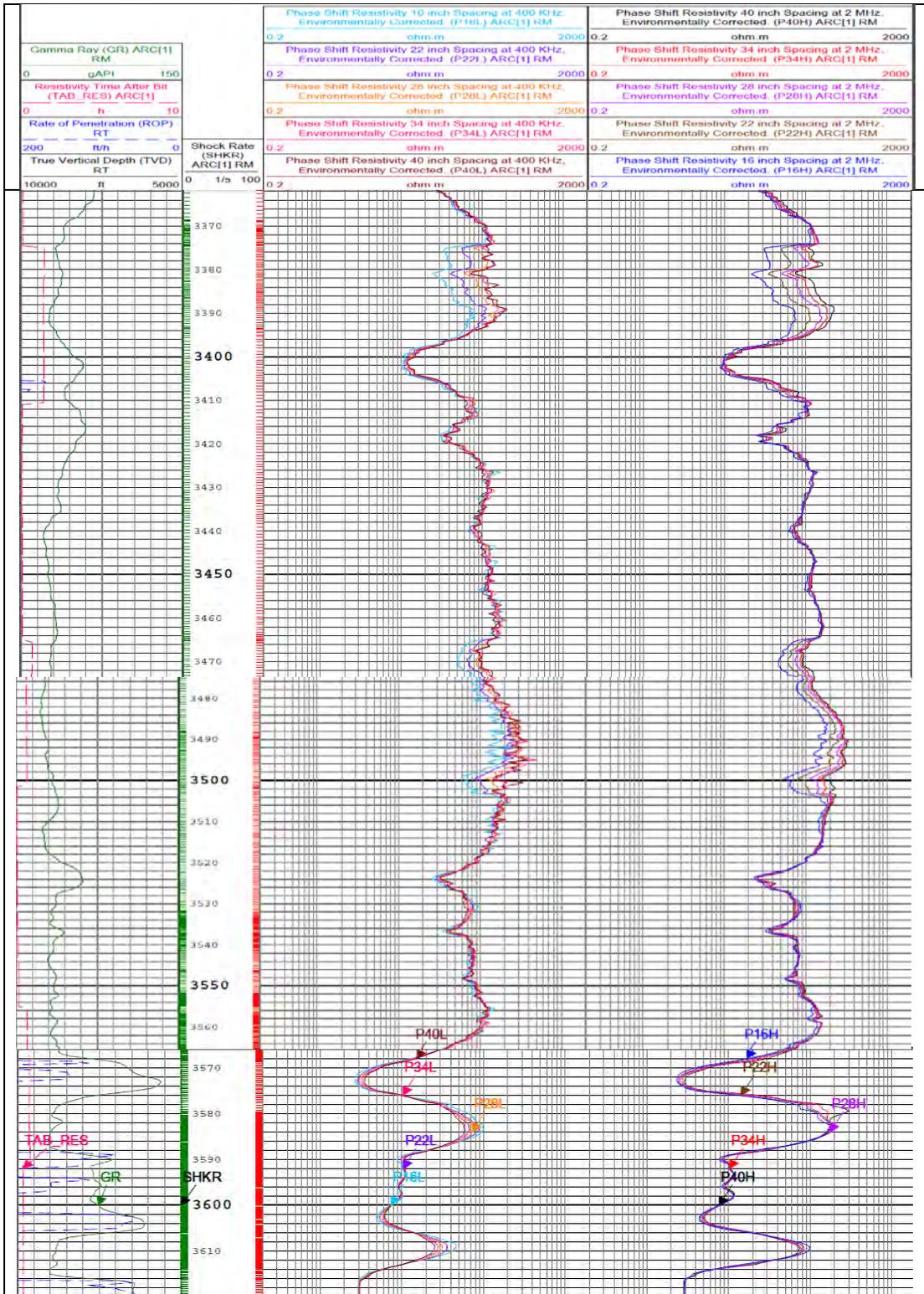
PZ1-00NO



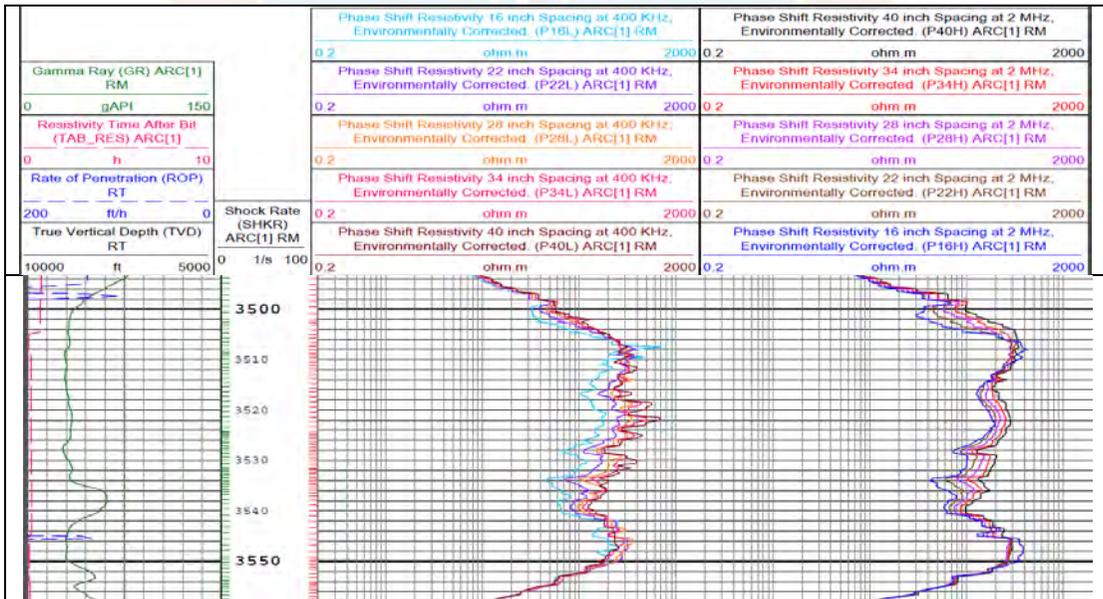
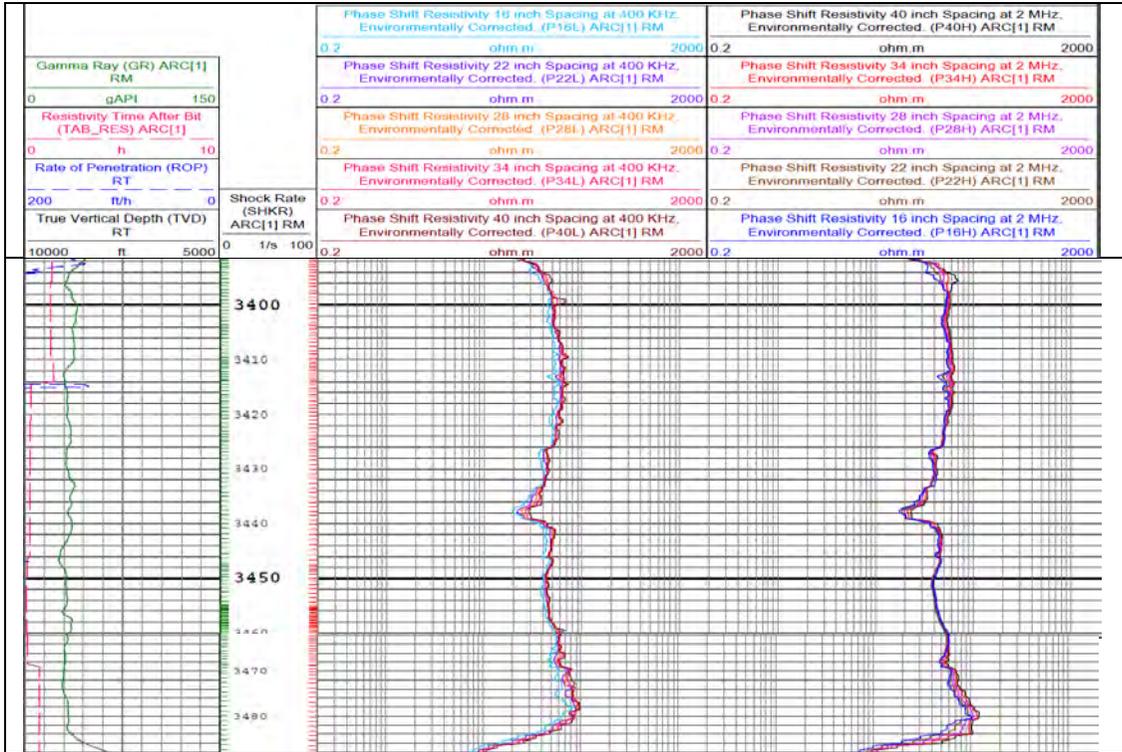


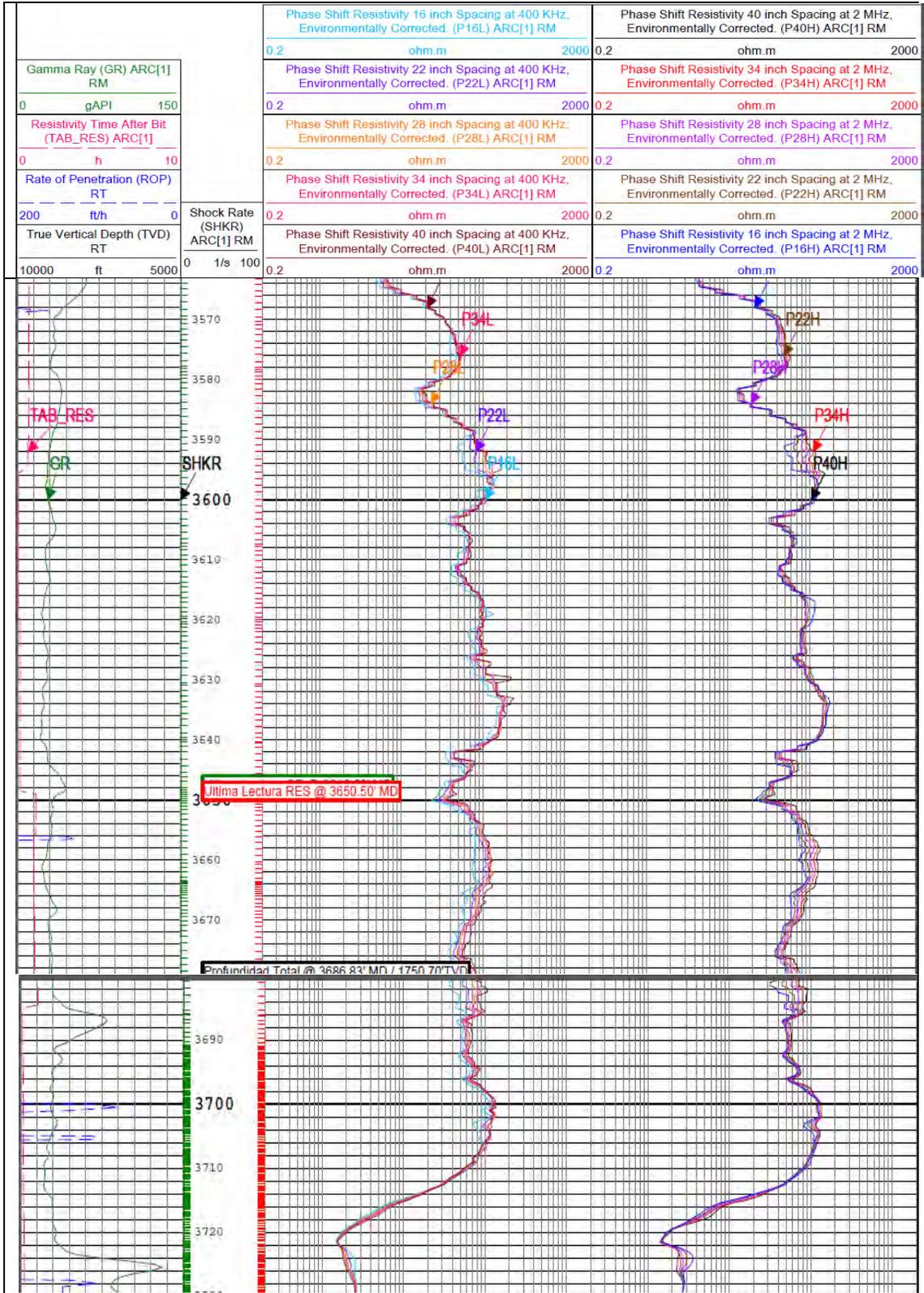
PZ1-00SO





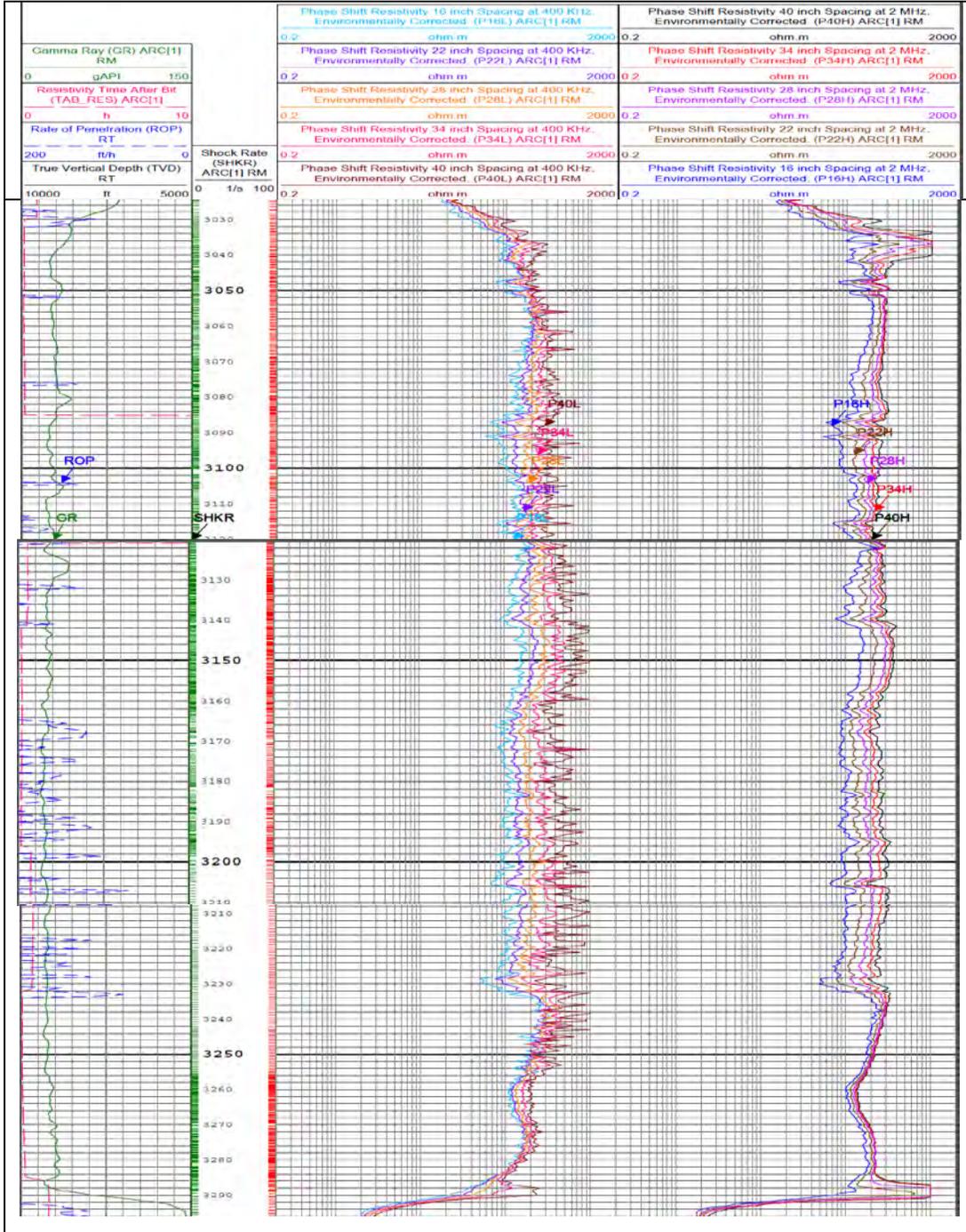
PZ1-00SE

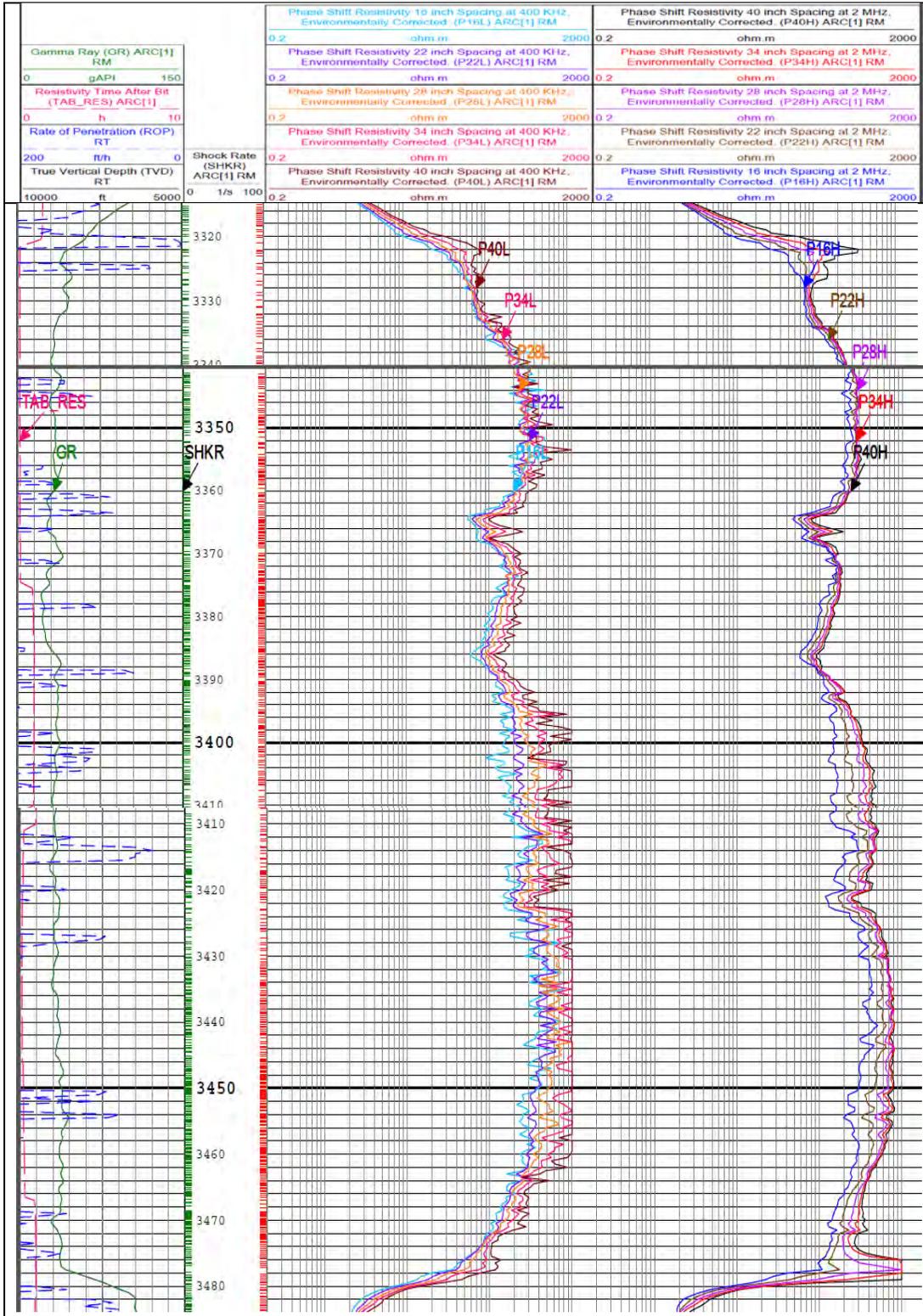


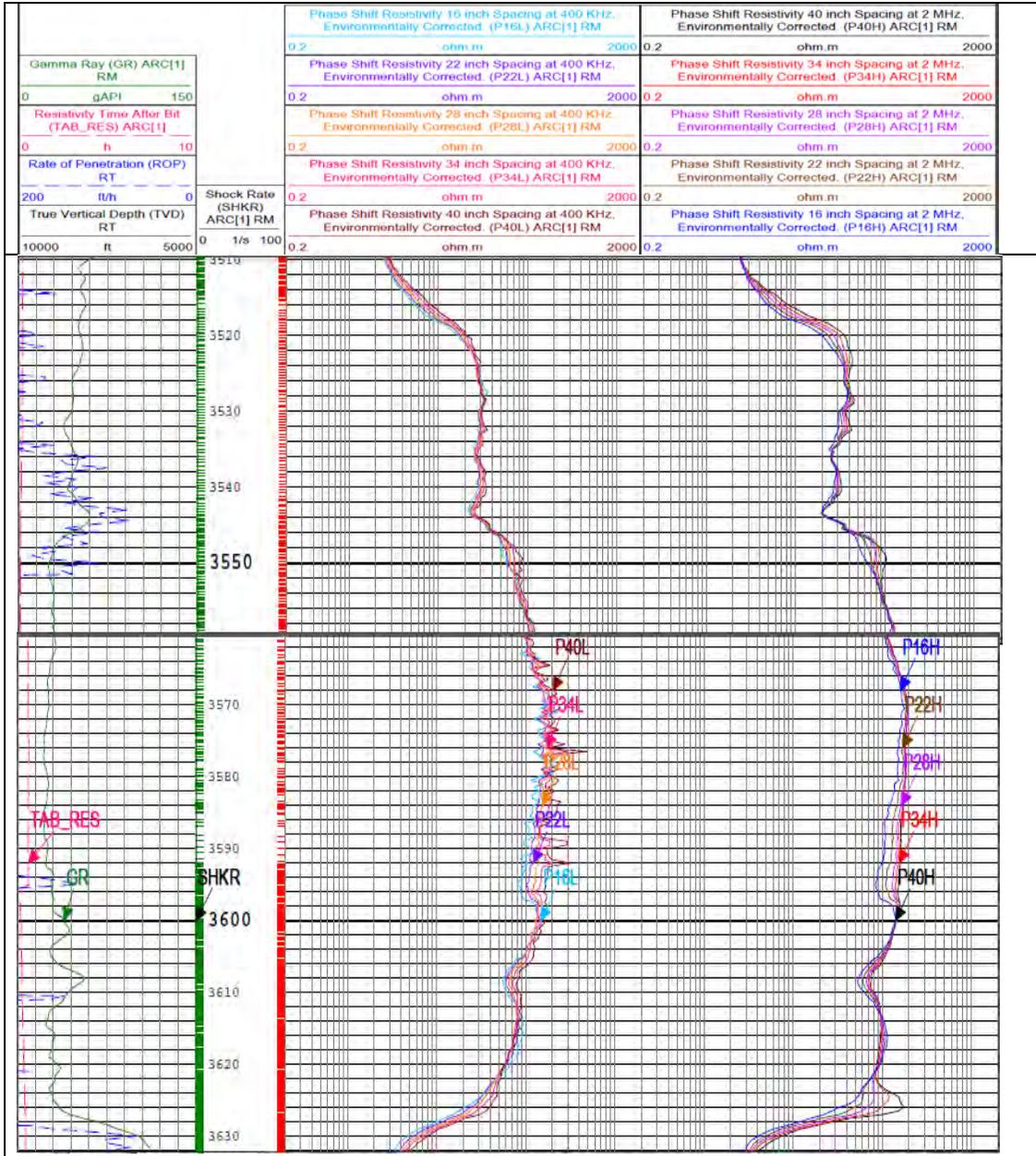


PZ2-00

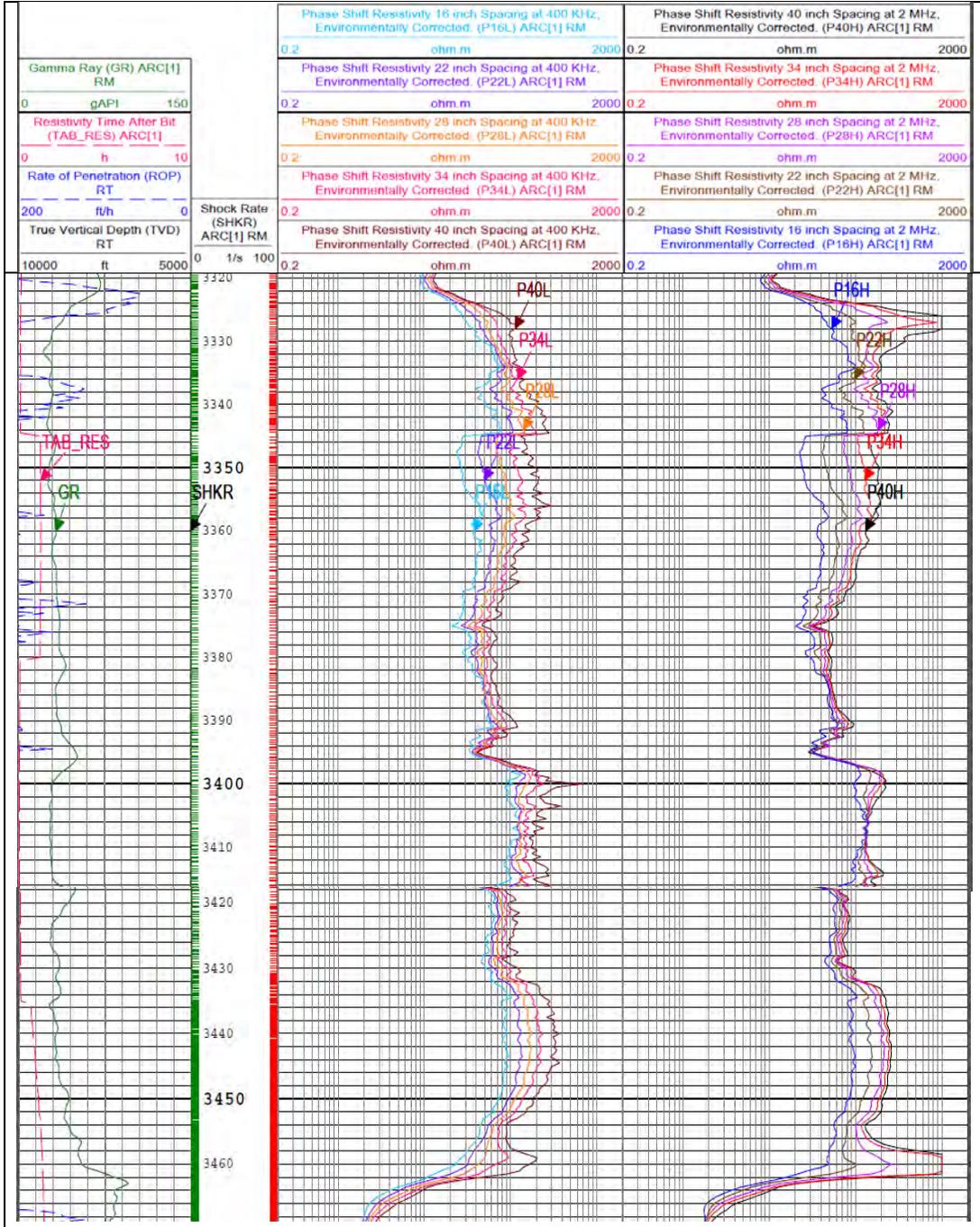
PZ2-00NE

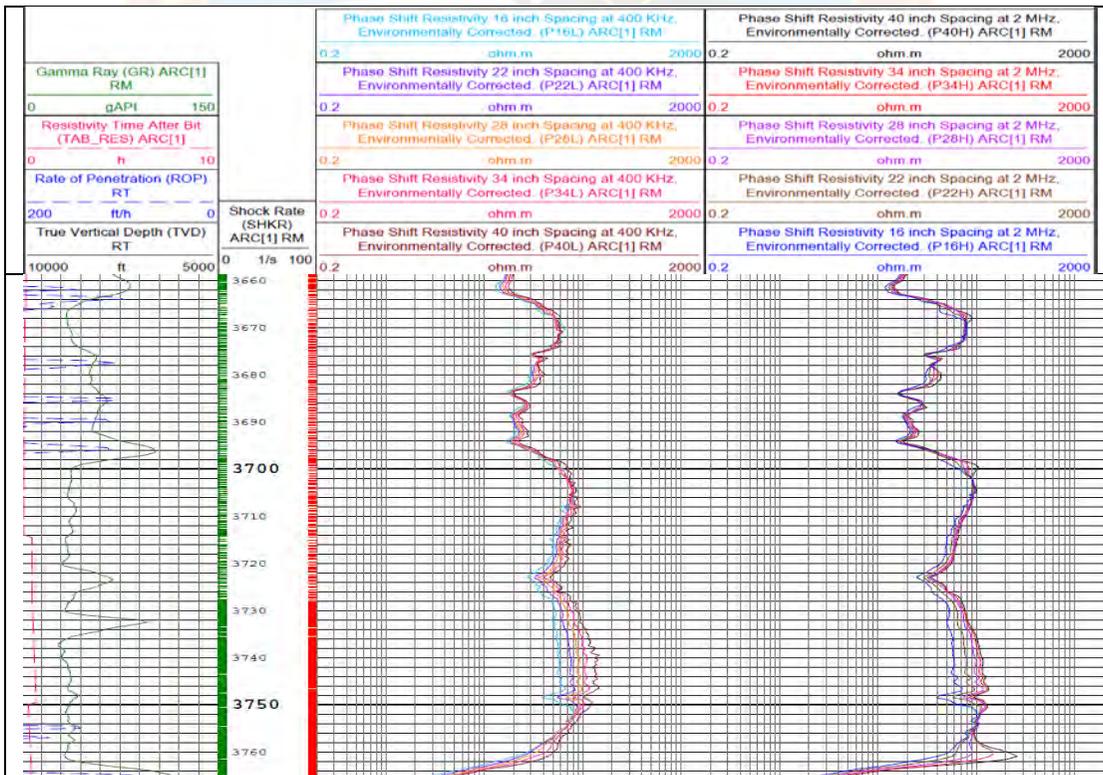
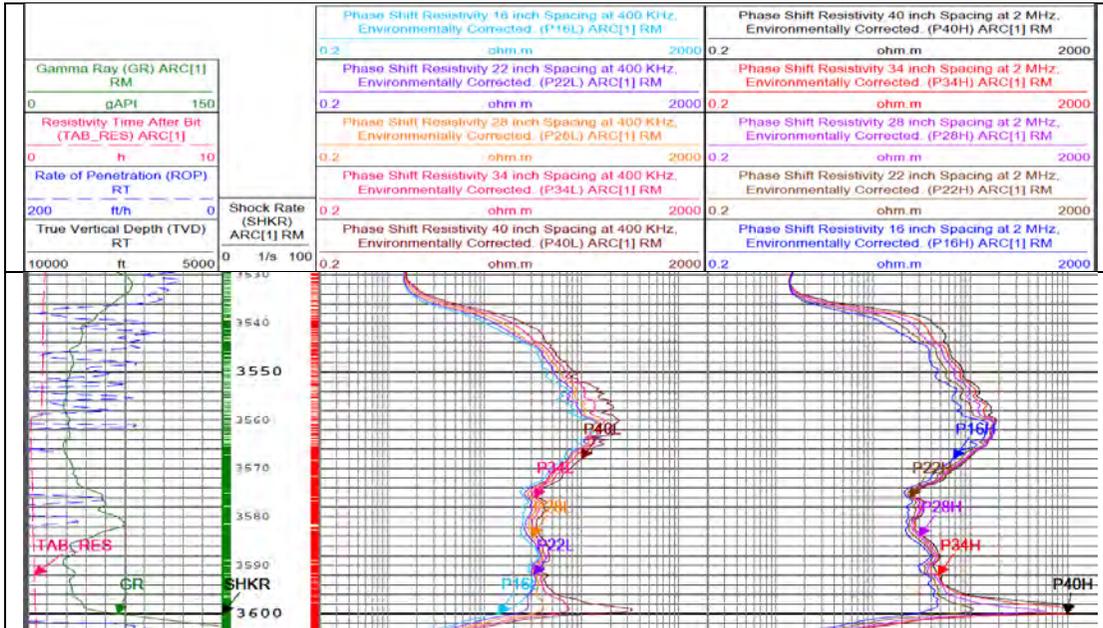




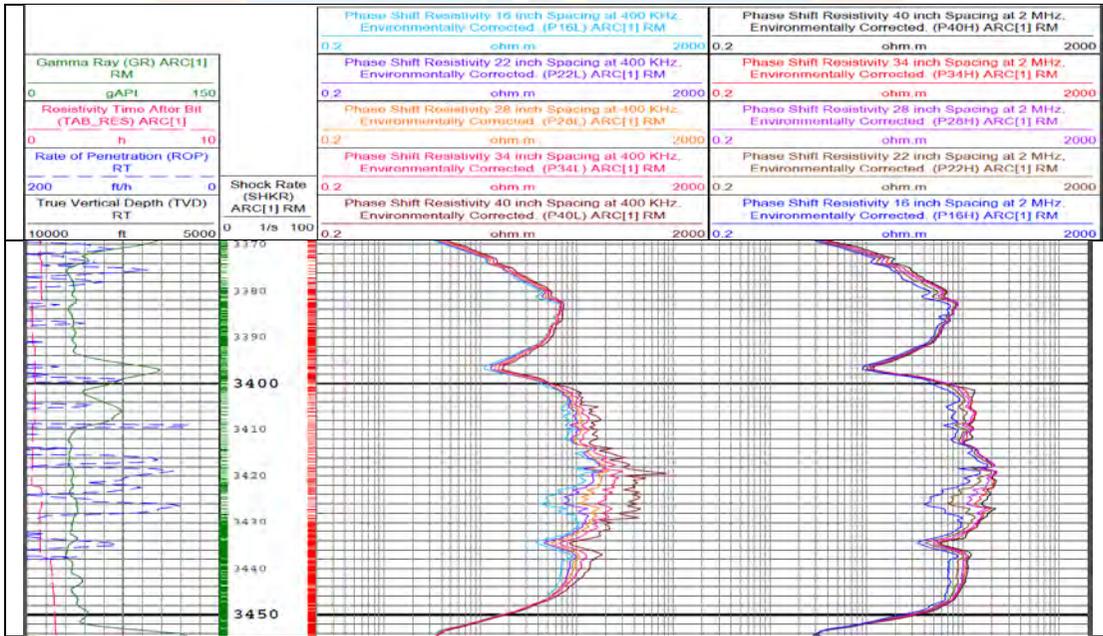
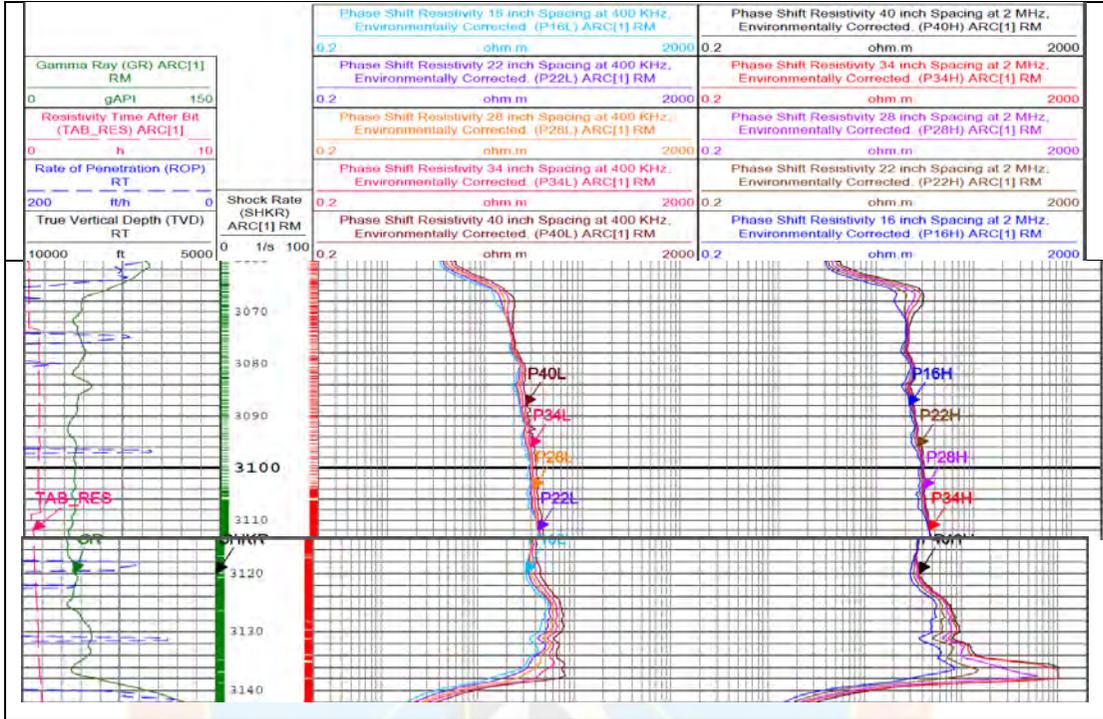


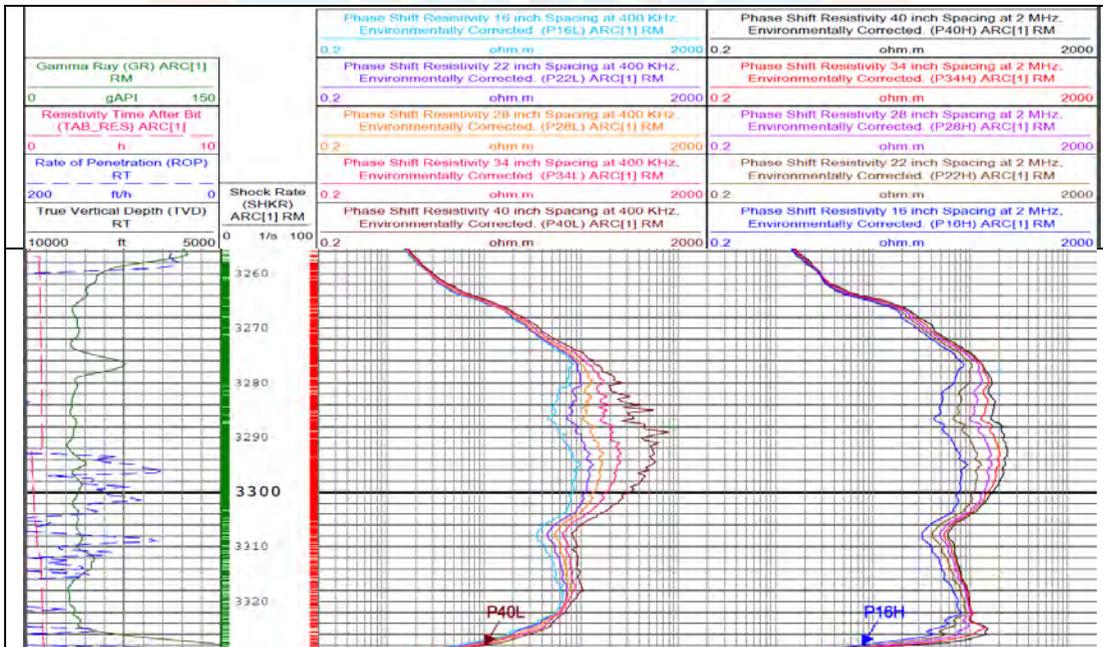
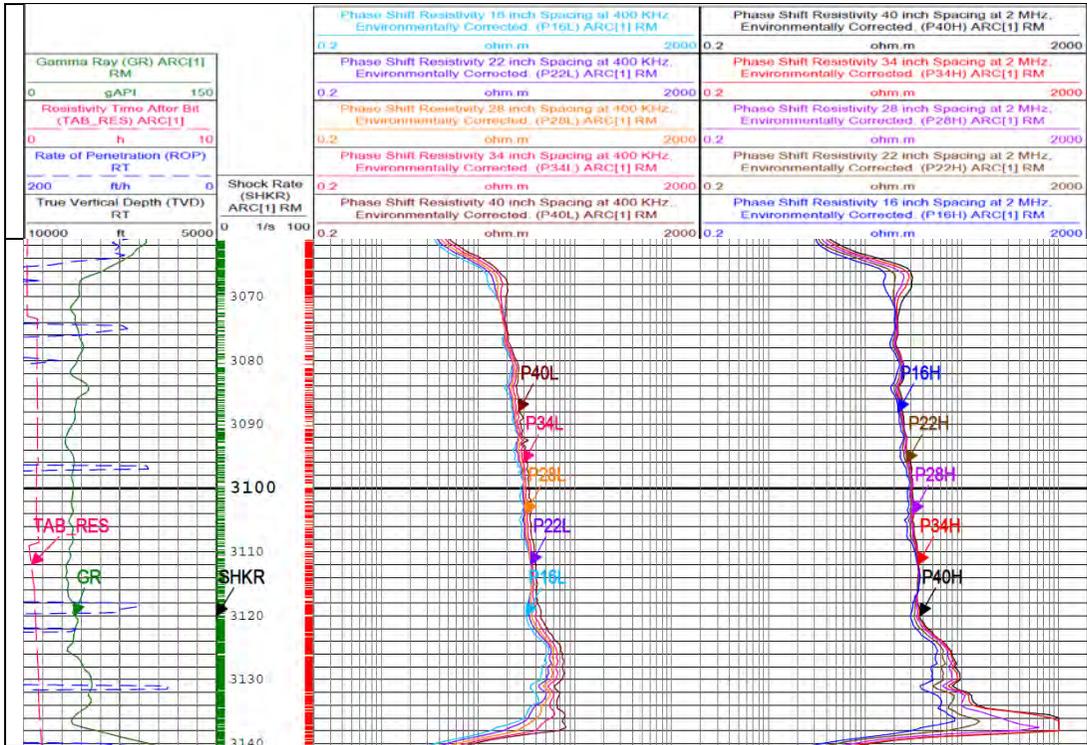
PZ2-00NO

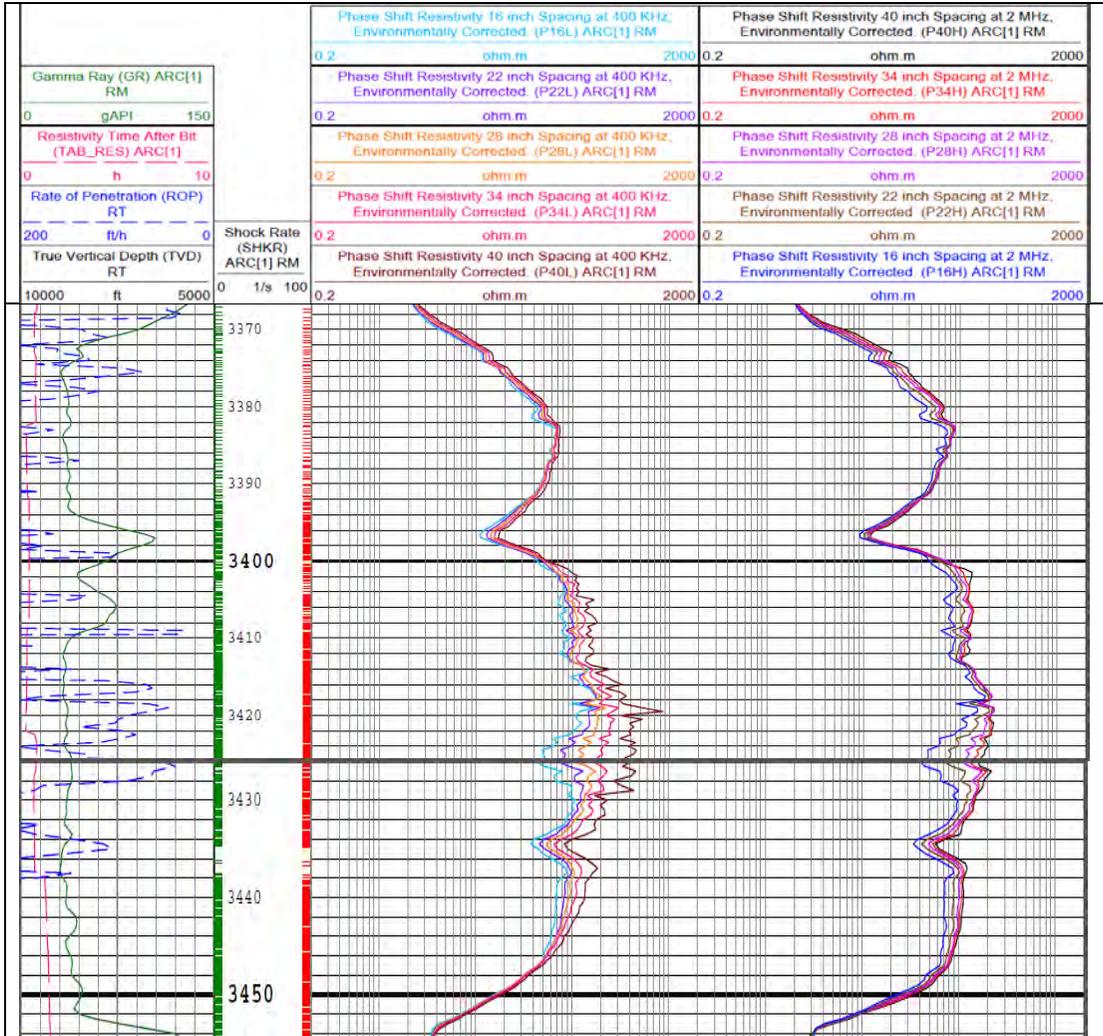




PZ2-00SE



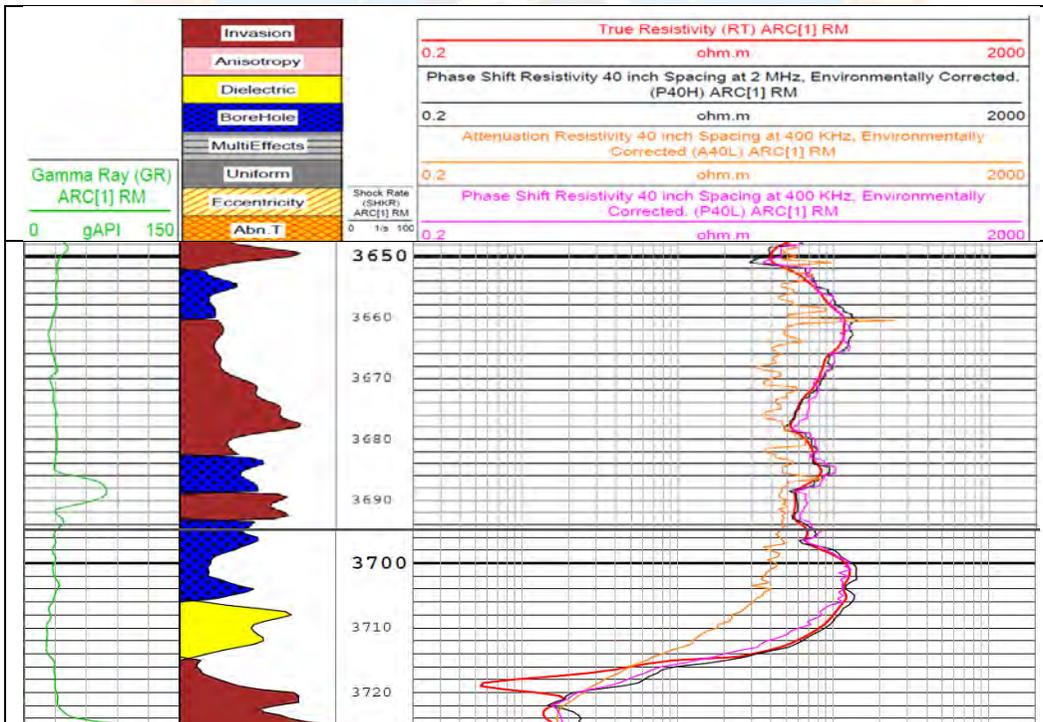
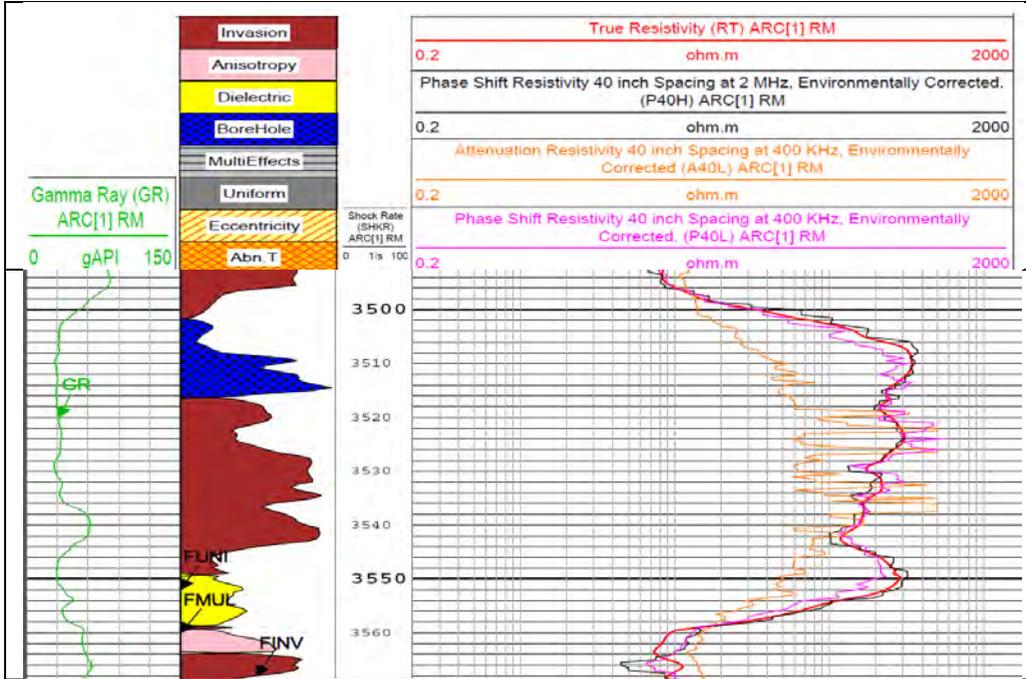




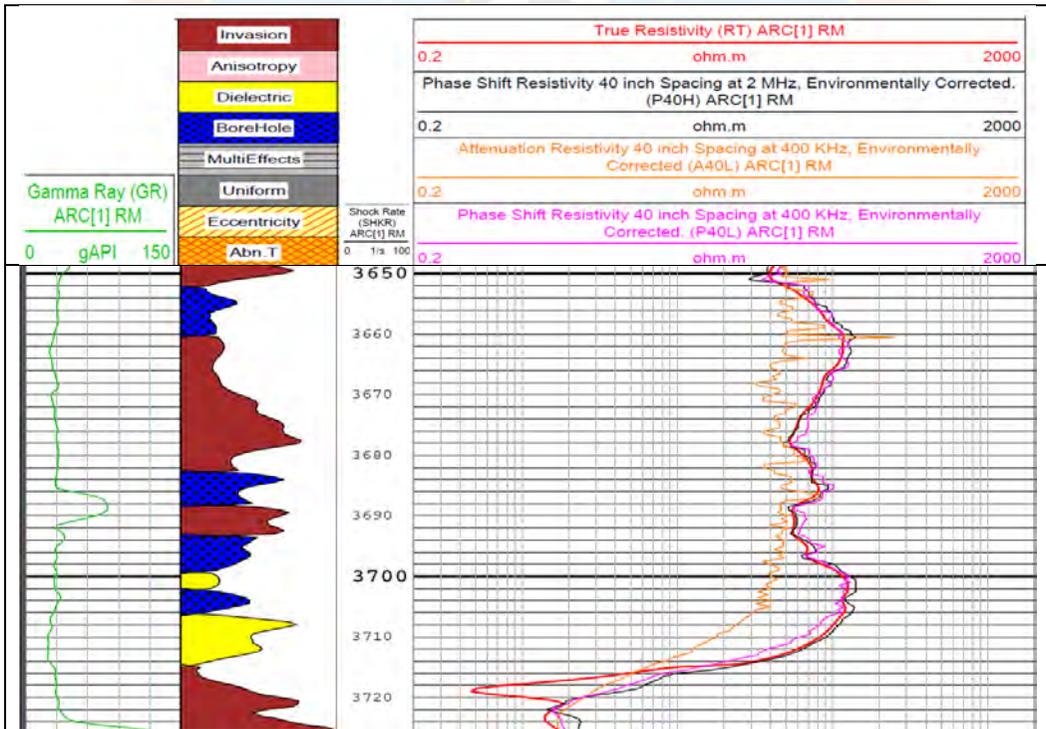
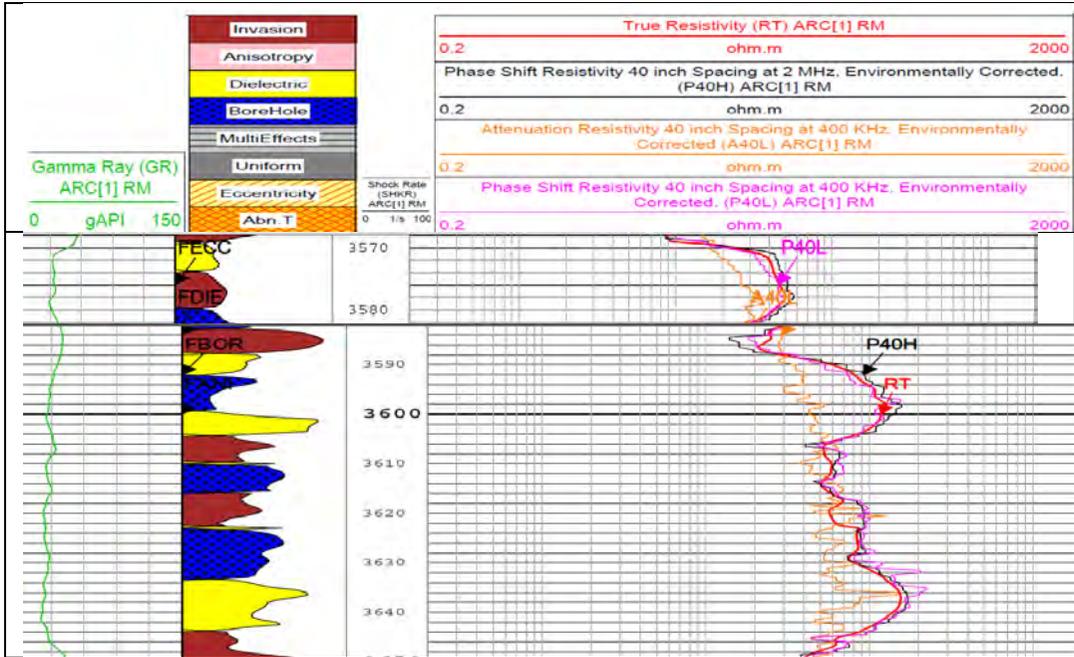


APÉNDICE D
ARCWizard

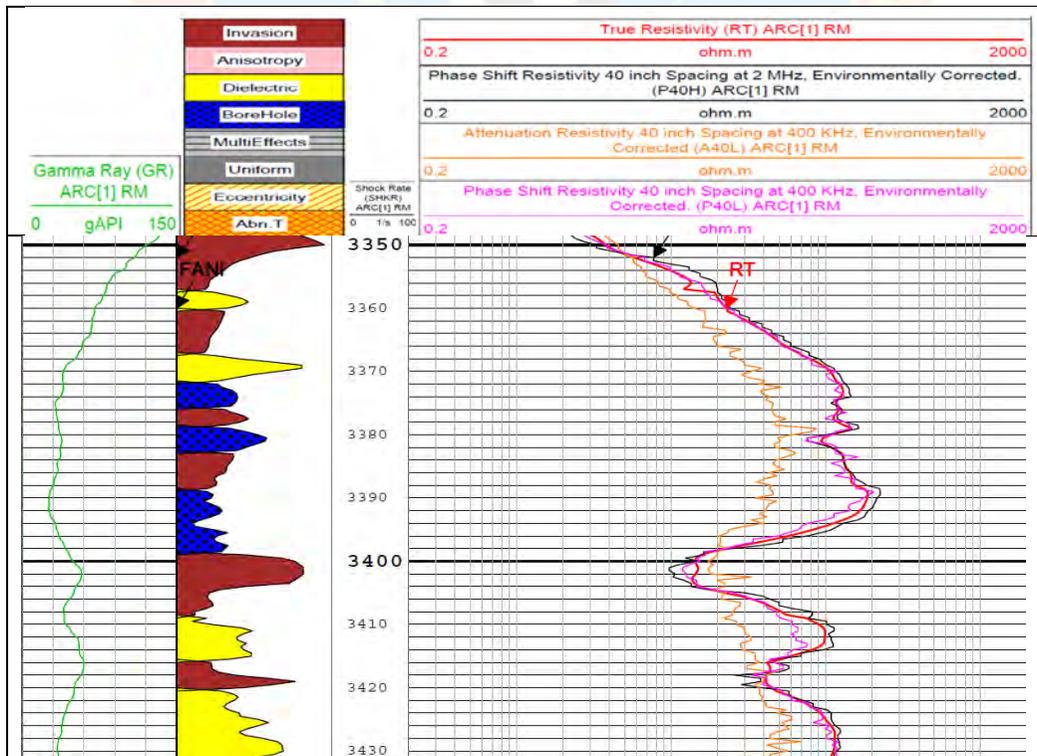
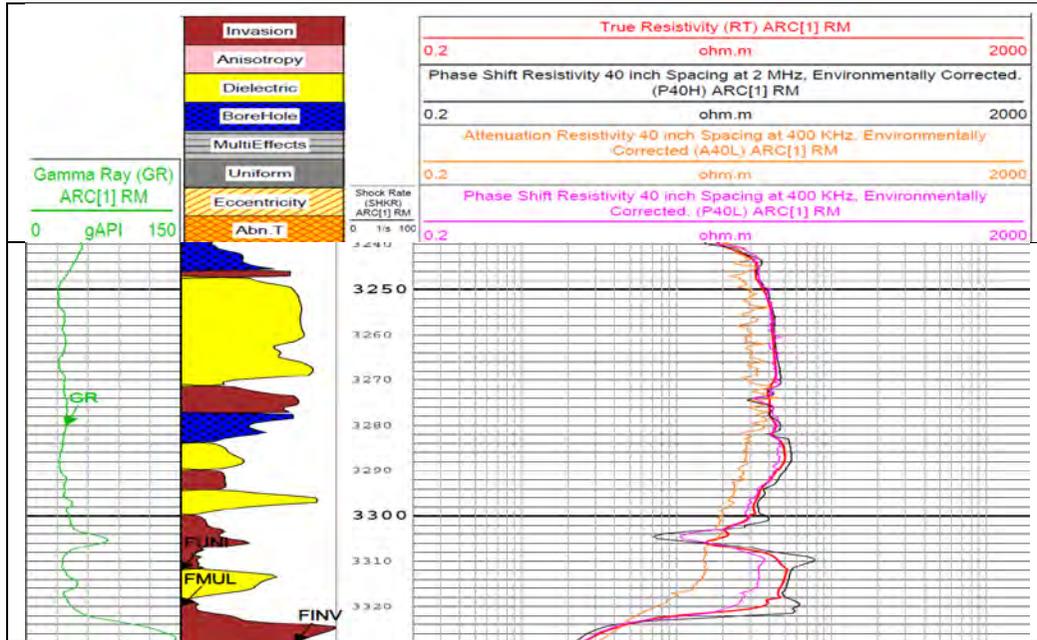
PZ1-00NE



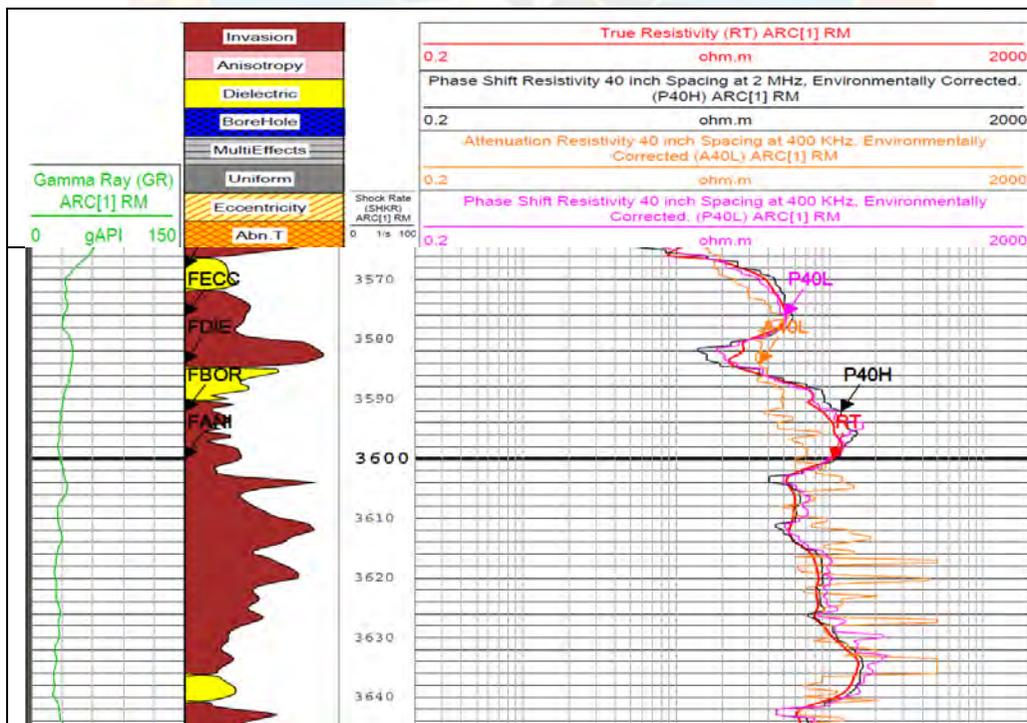
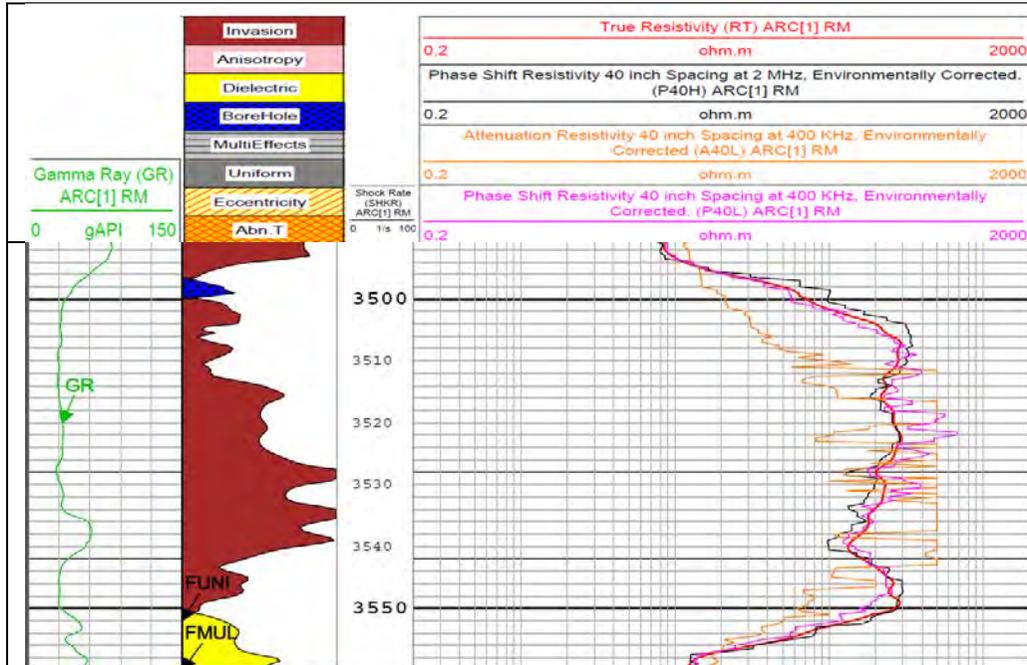
PZ1-00NO



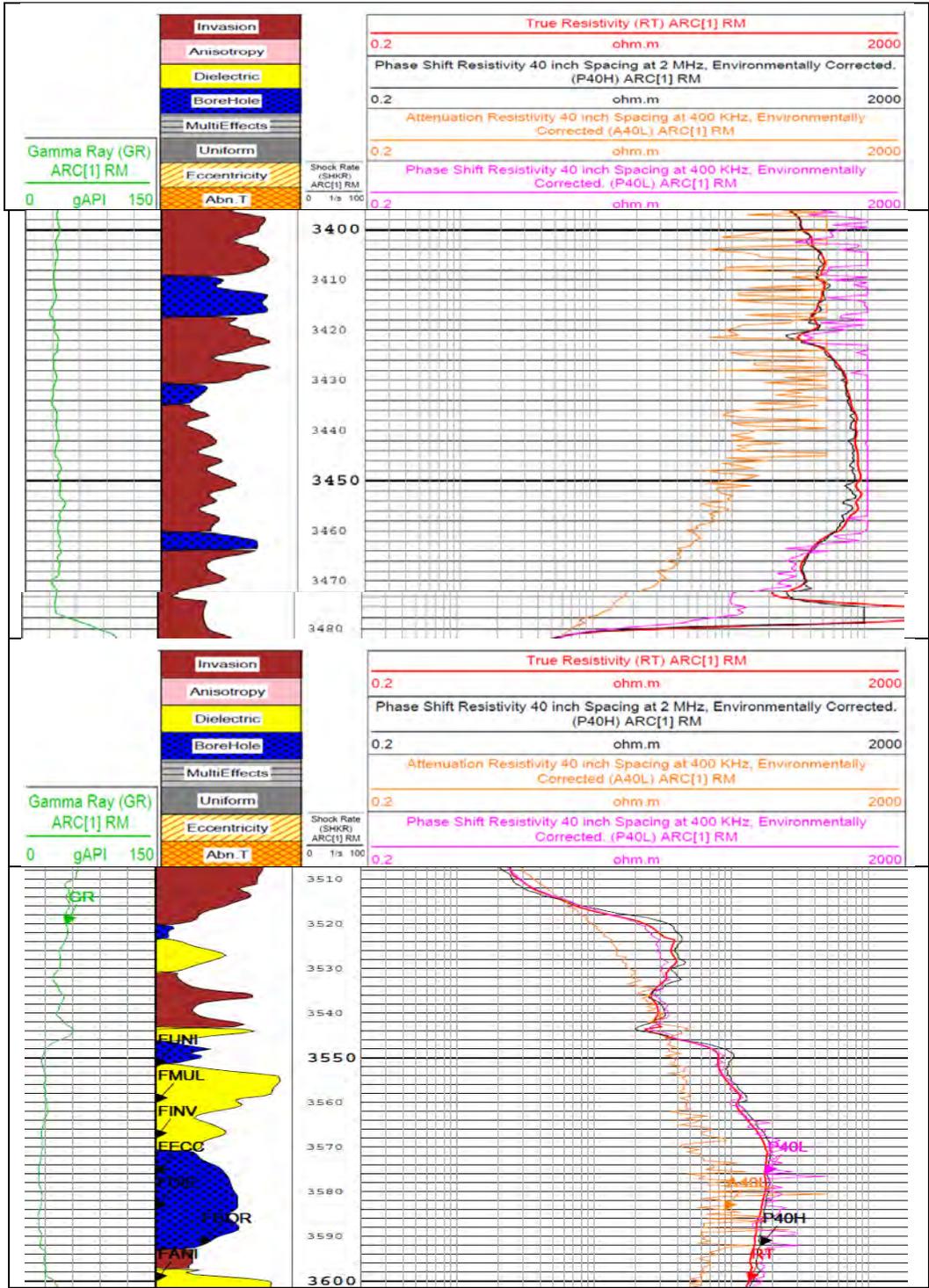
PZ1-00SO



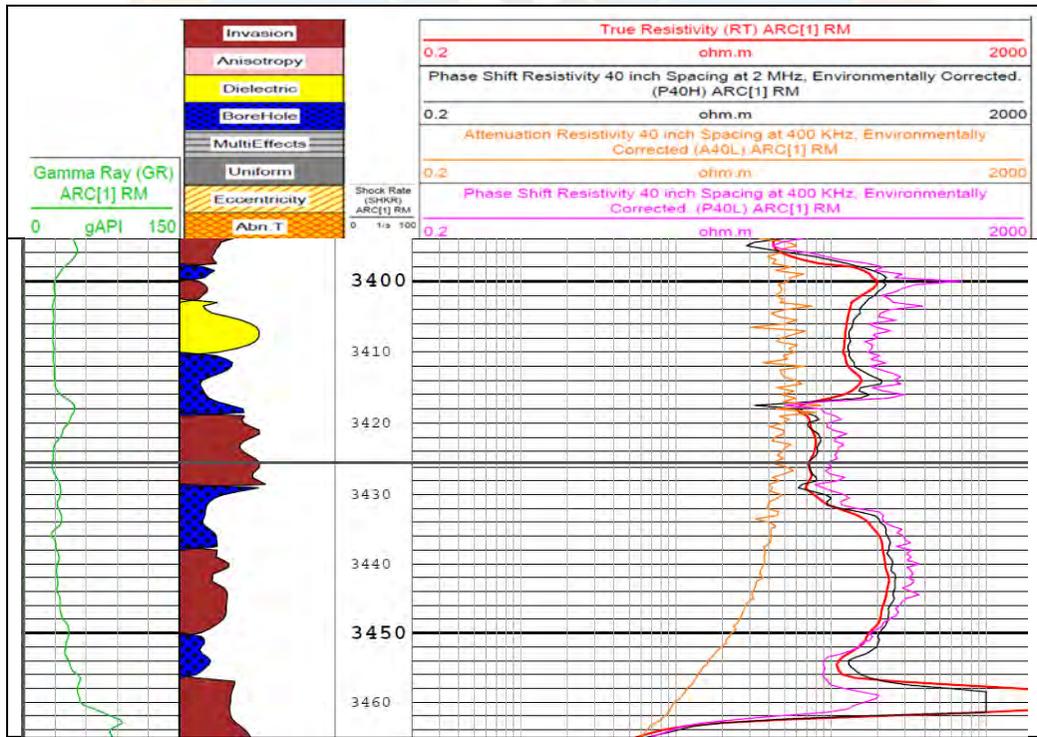
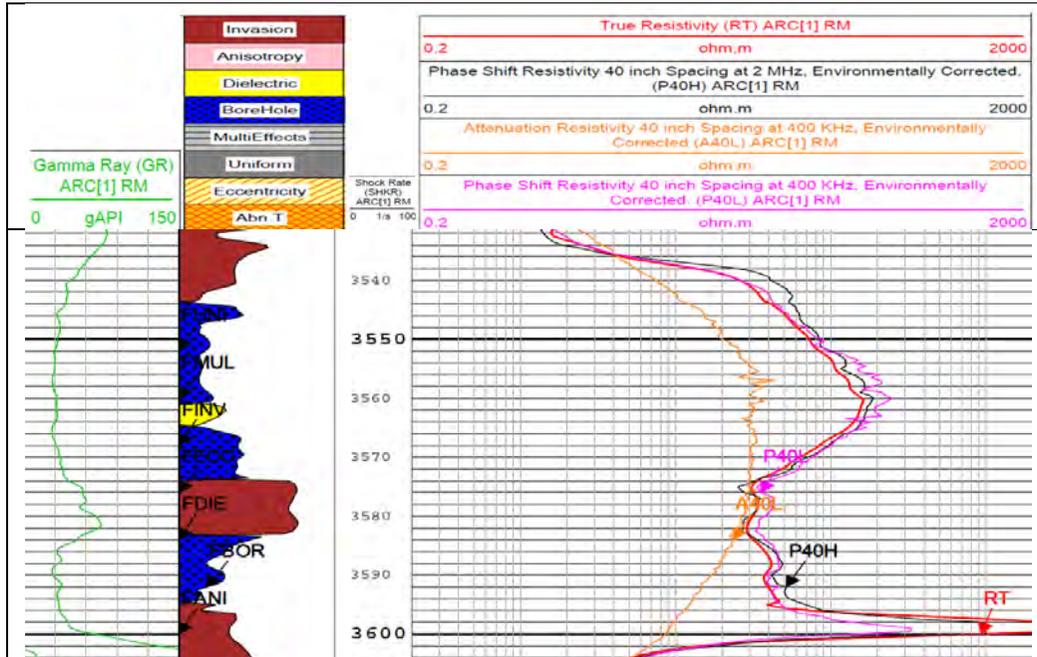
PZ1-00SE



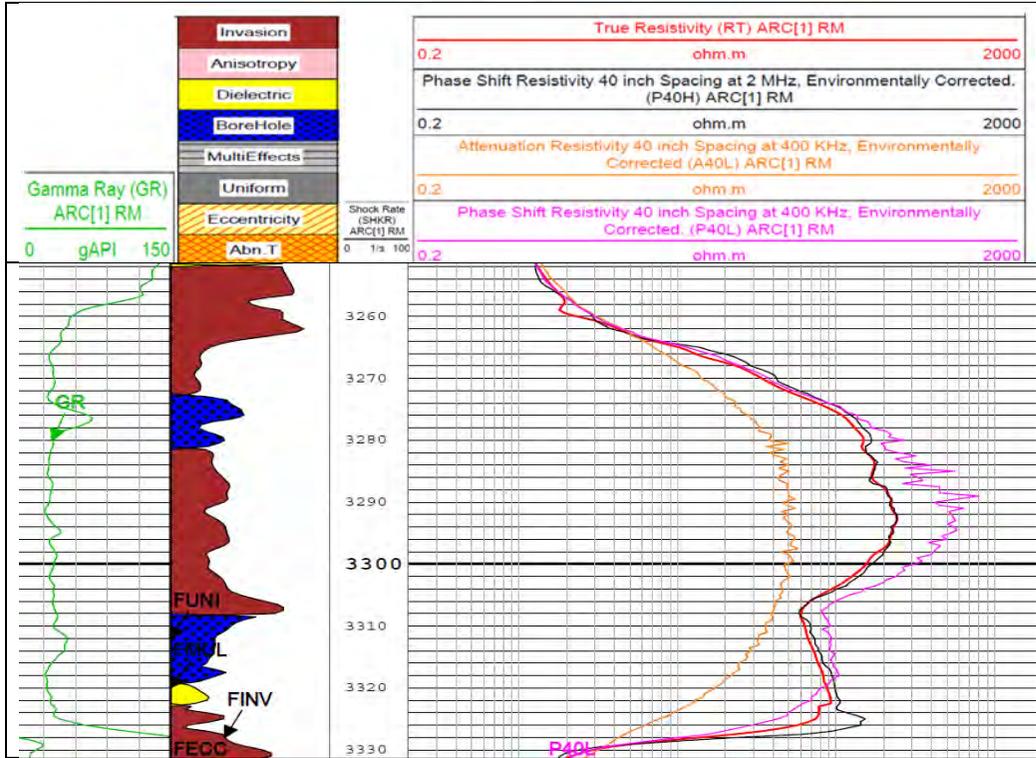
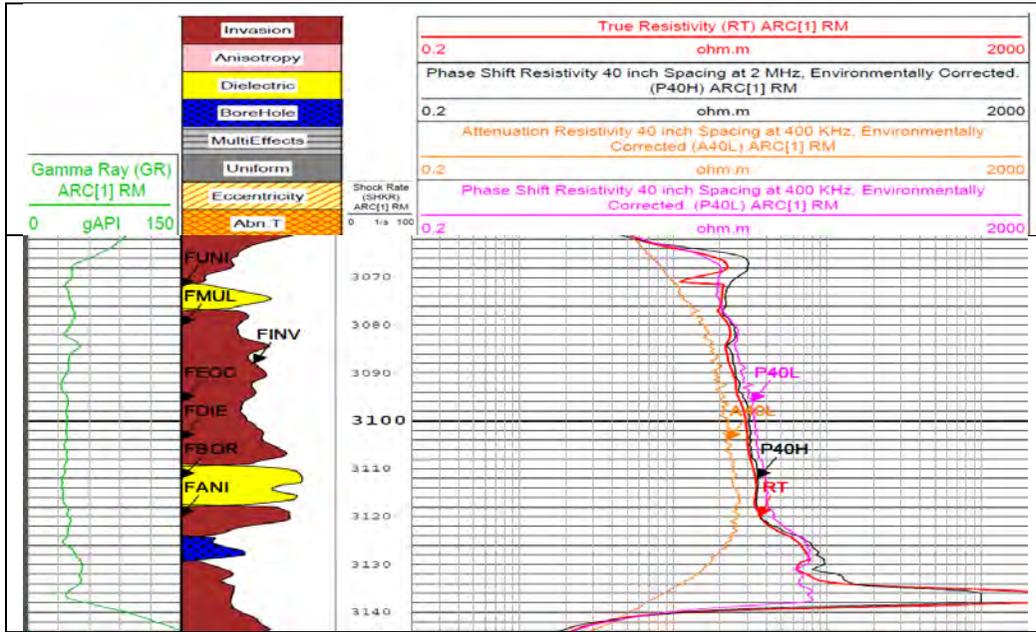
PZ2-00NE



PZ2-00NO



PZ2-00SE





HOJAS DE METADATOS

HOJAS METADATOS

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 1/6

| | |
|------------------|---|
| Título | ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS CURVAS DE RESISTIVIDAD GENERADAS POR LA HERRAMIENTA ARC EN EL CAMPO ZUATA PRINCIPAL, BLOQUE JUNIN 6 |
| Subtítulo | |

El Título es requerido. El subtítulo o título alternativo es opcional.

Autor(es)

| Apellidos y Nombres | Código CVLAC / e-mail | |
|-------------------------------------|------------------------------|---------------------------|
| DIELBIS MARINA LÓPEZ PEREIRA | CVLAC | CI: 20.918.007 |
| | e-mail | dielbis_lopez@hotmail.com |
| | e-mail | M1D95009@alum.udo.edu.ve |

Palabras o frases claves:

| |
|-------------------|
| Registro de pozos |
| Resistividad |
| Herramienta ARC |
| Bloque Junín 6 |

H

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

| Área | Sub-área |
|--------------------------------|----------|
| Tecnología (Ciencia Aplicadas) | Petróleo |

Debe indicarse por lo menos una línea o área de investigación y por cada área por lo menos un subárea. El representante de la subcomisión solicitará esta información a los miembros del jurado.

Resumen (Abstract):

La finalidad del presente trabajo se centró en el estudio del comportamiento de las curvas de resistividad generadas por el ARC (Array Resistivity Compensated), la cual permite llevar a cabo registros durante la perforación (LWD, por sus siglas en inglés), en el campo Zuata principal, con el objeto de determinar cuáles de esas curvas proporcionan un diagnóstico detallado de las condiciones de la formación. Para llevar a cabo este análisis fue necesario realizar una descripción de las unidades litoestratigráficas de la formación del campo Zuata, de igual manera, se realizó la recopilación de toda la información petrofísica y referente al principio de funcionamiento de la herramienta, para proceder al estudio de las curvas de resistividad, haciendo uso de la data obtenida durante la perforación de 8 pozos. Se obtuvo como resultado que las curvas que mejor cotejan las condiciones de los fluidos presentes en la formación son: P16H, P22H, P28H, P34H y P40H, fue posible determinar que mediante el uso de las curvas A16L, A22L, A28L, A34L y A40L, es viable mantener un mejor control de la navegación en pozos horizontales. Una vez concluido el estudio se estima proporcionar información adicional para la caracterización del campo, así mismo optimizar el proceso de perforación, permitiendo agilizar el proceso de análisis – decisión, que permita llevar a cabo una colocación óptima del pozo, maximizando de esa manera el recobro de reservas, además, mejorar y potenciar el uso de las curvas de resistividad obtenidas

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 3/6

Contribuidores:

| Apellidos y Nombres | Código CVLAC / e-mail | |
|---------------------|-----------------------|--|
| JUAN F, PERAZA | ROL | CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input checked="" type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/> |
| | CVLAC | C.I: 4.172.333 |
| | e-mail | perazaj@gmail.com |
| | e-mail | |
| RAMIREZ, MELISA | ROL | CA <input type="checkbox"/> AS <input checked="" type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/> |
| | CVLAC | C.I: 16.583.699 |
| | e-mail | Mtovar7@slb.com |
| | e-mail | |
| RIVERO, CESAR | ROL | CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/> |
| | CVLAC | C.I: 5.553.689 |
| | e-mail | cesargeologo@gmail.com |
| | e-mail | |
| ÁVILA, LUÍS | ROL | CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/> |
| | CVLAC | C.I:8.398.027 |
| | e-mail | Luisvavilam59@gmail.com |
| | e-mail | |

Se requiere por lo menos los apellidos y nombres del tutor y los otros dos (2) jurados. El formato para escribir los apellidos y nombres es: "Apellido1 InicialApellido2., Nombre1 InicialNombre2". Si el autor esta registrado en el sistema CVLAC, se anota el código respectivo (para ciudadanos venezolanos dicho código coincide con el numero de la Cedula de Identidad). El campo e-mail es completamente opcional y depende de la voluntad de los autores. La codificación del Rol es: CA = Coautor, AS = Asesor, TU = Tutor, JU = Jurado.

Fecha de discusión y aprobación:

| Año | Mes | Día |
|------|-----|-----|
| 2013 | 11 | 07 |

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 4/6

Archivo(s):

| |
|--------------------------|
| Nombre de archivo |
| LopezD.docx |
| |

Alcance:

Espacial: _____ (opcional)

Temporal: _____ (opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo:

Ingeniero de Petróleo

Nivel Asociado con el trabajo: Ingeniería

Área de Estudio:

INGENIERÍA DE PETRÓLEO (CIENCIAS APLICADAS)

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

UNIVERSIDAD DE ORIENTE , NÚCLEO MONAGAS

Hoja de Metadatos para tesis y trabajos de Ascenso- 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CUN°0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI - 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. **Abul K. Bashirullah**, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

RECIBIDO POR *[Firma]*
FECHA 5/8/09 HORA 5:30

Cordialmente,
[Firma]
JUAN A. BOLANOS CUMBELE
Secretario

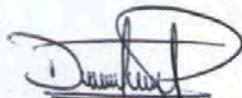


C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

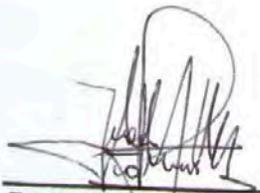
JABC/YQC/maruja

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 6/6
Derechos:

Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicado CU-034-2009): "Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad, y solo podrán ser utilizados a otros fines, con el consentimiento del Consejo de Núcleo Respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización."



Dielbis M. López. P
C.I.: 20.918.007
AUTOR



Prof. Juan F. Peraza
TUTOR