

# Análisis Geológico

**Compact™ Micro Image (CMI)**  
**Compact™ Cross-Dipole (CXD)**

Servicio de Interpretación y Procesamiento – IPS : Lima-Perú  
Analistas : Juan T. Mendoza / Rafael Osorio / Humberto Quiche  
Fecha : Febrero 2014

**Pozo: LO6-34D, Fase 8.5”**

**Campo: Lobitos – Piura**

**SAVIA PERU S.A**



**Weatherford®**

TODAS LAS INTERPRETACIONES SON OPINIONES BASADAS EN INFERENCIAS DE MEDIDAS ELÉCTRICAS U OTRAS Y NO PODEMOS NI GARANTIZAMOS LA EXACTITUD O PRECISIÓN DE NINGUNA INTERPRETACIÓN Y NO PODEMOS SER SUJETOS A/O SER RESPONSABLES DE NINGUNA PÉRDIDA, COSTO, DAÑO O GASTO OCURRIDO O GENERADO POR ALGUIEN PRODUCTO DE INTERPRETACIONES HECHAS POR ALGUNOS DE NUESTROS OFICIALES, AGENTES O EMPLEADOS.

**PROCESAMIENTO E INTERPRETACIÓN DE  
MICRO IMÁGENES CMI Y ACÚSTICO DIPOLAR CRUZADO CXD DEL  
POZO:**

**LO6-34D**

<b>1. METODOLOGÍA DE TRABAJO .....</b>	<b>8</b>
<b>2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y FUNCIONAMIENTO DE LA HERRAMIENTA .....</b>	<b>9</b>
<b>3. DESCRIPCIÓN DE LOS PRODUCTOS IMÁGENES CMI.....</b>	<b>13</b>
<b>4. CONTROL DE CALIDAD DE LA INFORMACIÓN.....</b>	<b>15</b>
<b>5. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DEL CXD .....</b>	<b>17</b>
<b>6. DESCRIPCIÓN DEL REGISTRO CXD.....</b>	<b>22</b>
<b>7. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA BASADA EN REGISTROS ELECTRICOS.....</b>	<b>24</b>
<b>7.1 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE ELECTROSECUENCIAS.....</b>	<b>24</b>
<b>7.2 ANALISIS DE DENSIDAD DE FRACTURAS Y DIRECCION DE         BUZAMIENTO DE FRACTURAS.....</b>	<b>34</b>
<b>7.3 ANALISIS ESTRUCTURAL DEL GRAFICO DIP AZIMUTH VECTOR.....</b>	<b>36</b>
<b>8. DESCRIPCIÓN DEL ANÁLISIS DE LA SEMBLANZA DE LAS ONDAS ACÚSTICAS ...</b>	<b>39</b>
<b>8.1 ESTADÍSTICAS DE ONDA Y PROPIEDADES MECÁNICAS.....</b>	<b>45</b>
<b>8.2 OBSERVACIONES DE LAS ESTADÍSTICAS DE         ONDA.....</b>	<b>48</b>
<b>8.3 ANISOTROPIA.....</b>	<b>50</b>
<b>9. ADENDUM AL REPORTE ANÁLISIS GEOLÓGICO LO6-34D .....</b>	<b>54</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cabezal de registros LO6-34D .....	7
Figura 2. Patines de la herramienta CMI .....	9
Figura 3. Detalle del patín que es parte principal de una herramienta CMI .....	10
Figura 4. Generación de imágenes (Escala de Colores) .....	11
Figura 5. Orientación de Planos.....	12
Figura 6. Registro Dipmeter. Escala 1:200 y 1:500.....	14
Figura 7. Grafica de valores de Acelerómetro. LO6-34D .....	16
Figura 8. Gráfica de valores de Magnetómetro. LO6-34D .....	16
Figura 9. Plot Compuesto CMI-Litológico-CXD-Triple Combo Intervalo 8135' – 7756'	26
Figura 10. Plot Compuesto CMI-Litológico-CXD-Triple Combo Intervalo 7756' – 7454'	27
Figura 11. Plot Compuesto CMI-Litológico-CXD-Triple Combo Intervalo 7445' – 7335'	29
Figura 12. Plot Compuesto CMI-Litológico-CXD-Triple Combo Intervalo 7335' – 7125'	31
Figura 13. Plot Compuesto CMI-Litológico-CXD-Triple Combo Intervalo 7091' – 6976'	33
Figura 14. Azimuth Vector Plot LO6-34D .....	38
Figura 15. CXD LO6-34D Rock Properties. Depth 6900'-7130'	40
Figura 16. CXD LO6-34D Rock Properties. Depth 7130'-7430'	41
Figura 17. CXD LO6-34D Rock Properties. Depth 7430'-7720'	42
Figura 18. CXD LO6-34D Rock Properties. Depth 7720'-8020'	43
Figura 19. CXD LO6-34D Rock Properties. Depth 8020'-8096'	44
Figura 20. CXD LO6-34D Anisotropía. Depth 6900'-7160'	50
Figura 21. CXD LO6-34D Anisotropía. Depth 7160'-7500'	51
Figura 22. CXD LO6-34D Anisotropía. Depth 7500'-7840'	52
Figura 23. CXD LO6-34D Anisotropía. Depth 7840'-8100'	53

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. INTERVALO 6900' – 6976'	45
Tabla 2. INTERVALO 6976' – 7091'	45
Tabla 3. INTERVALO 7091'–7125'	46
Tabla 4. INTERVALO 7125'–7205'	46
Tabla 5. INTERVALO 7205'-7335'	46
Tabla 6. INTERVALO 7335'-7445'	47
Tabla 7. INTERVALO 7445'-7756'	47
Tabla 8. INTERVALO 7756'-7864'	47
Tabla 9. INTERVALO 7864'-8096'	48

## RESUMEN EJECUTIVO

La Sección 8.5" del pozo LO6-34D ha sido registrado en el intervalo 6900'-8135', con las herramientas Gamma ray, Laterolog Resistivity, Densidad-Neutrón, Sonic Cross Dipole, imágenes CMI y Dipmeter. La dirección de buzamiento de las capas y las fracturas son analizadas por intervalos por medio de los gráficos "rose diagram". La dirección progresiva de los buzamientos de las capas se determina por el gráfico "Dip Azimuth Vector Plot" y la densidad de fracturas se calcula de las imágenes.

De la sucesión sedimentaria se confirmó el tope de la formación Mogollón a la profundidad de 6978'. La sucesión del Mogollón se ha dividido en 7 electrosecuencias. Una electrosecuencia es un intervalo definido en los registros eléctricos, a través del cual hay consistencia o cambios consistentes en las respuestas y las características de éstos. Se ha notado que las electrosecuencias describen mayormente secuencias de engrosamiento de grano y engrosamiento de estratos hacia arriba. Particularmente la Electrosecuencia 5 (7125'-7335') es la que indica una energía de sedimentación creciente, y además ha mostrado poseer la mayor densidad de fracturas, igual a 0.35 F/pie con dirección de buzamiento WNW (rumbo SSW-NNE). Lo que hace distintivo esta electrosecuencia respecto a las otras electrosecuencias, son los arreglos de la arcillosidad y la matriz debido a la mayor energía de sedimentación. Esto ha dado lugar a la formación de electrofacies propicias a la litificación y al fracturamiento.

El análisis estructural desde el fondo del pozo hasta el tope de la formación Mogollón indica que las capas siguen una dirección de buzamiento que ha ido gradualmente cambiando desde NNW a NW a WSW.

Las dirección de buzamiento de los breakouts es igual a 240° (SW), lo que confirma la dirección de buzamiento de las fracturas inducidas, de 130°-160° (SE), que como se espera, son perpendiculares entre sí.

El transmisor del Sonic Cross Dipole emite ondas veloces en la dirección preferencial que es la dirección que se alinea al rumbo de las fracturas. En el intervalo de mayor fracturamiento 7120'-7240' (Electrosecuencia 5) se ha registrado la mayor anisotropía que es la diferencia entre las ondas veloces y las ondas lentas, indicando una orientación SSW-NNE, que es el rumbo de las fracturas.

## INTRODUCCIÓN

El presente reporte se basa en la interpretación de imágenes micro-eléctricas de la pared de pozo obtenidas con la herramienta CMI y procesadas en el intervalo de 2640'- 5830.5' del pozo **LO6-34D**, localizado en el Lote XXV, **región Piura - Perú**.

El objetivo primordial es la descripción e interpretación de las imágenes. Estas muestran los rasgos geológicos observables que permite la identificación del rumbo y buzamiento de capas y fracturas. Con esto se complementa la información sedimentológica y estructural respectivamente.

La sucesión e integración de las imágenes con la información geológica del Mud log y registros eléctricos convencionales permite describir los elementos de facies como son la litología, textura, estructura sedimentaria, geometría y dirección de paleocorrientes. La asociación de facies es un indicador de los ambientes y subambientes de sedimentación.

En cuanto a las fracturas, éstas quedan identificadas en las imágenes por una sinusoida que se refleja por la inserción del lodo de perforación eléctricamente conductor (base agua). La disminución de esta reacción pone en manifiesto que las fracturas son semi-conductivas. Y cuando esta reacción no se da, ya que se produce un halo blanquecino alrededor, se interpreta como fracturas resistivas.

Por otro lado, la orientación de las fracturas está indicada por el valor de rumbo y buzamiento.

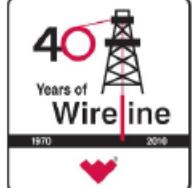
Las rocas calcáreas poseen sistemas de porosidad dual, primaria y secundaria. La porosidad secundaria puede contener vugs, moldes y fracturas. En las imágenes los vugs van a ser reconocidos como anomalías conductivas poligonales.

Las características geológicas provenientes de datos en diferente escala y resolución como son núcleos, registros y sísmica permiten integrarse y caracterizar la extensión areal, el volumen, conectividad del reservorio y la identificación de los fluidos contenidos.

El valor agregado del registro CMI en los estudios de Geomecánica, consiste en la determinación de la magnitud y dirección de los esfuerzos principales para la optimización de la perforación de pozos inclinados y horizontales (Tiempos de taladro). Paralelamente, el conocimiento de la orientación de las fracturas permite un mejor diseño de la trayectoria del pozo (azimut) maximizando el número de fracturas que lo intersectan. Esto a su vez se traduce en un mejoramiento en el drenaje de los pozos.

Finalmente, los datos de las ondas compresionales, de corte y Stoneley junto a los datos de densidad, caliper y gamma ray permiten obtener mediante cálculos propiedades mecánicas de rocas mediante los módulos de Young, Bulk, Compresional, Relación de Poisón así como un índice Permeabilidad (basado en la onda Stoneley).

Se muestra cabezal de registro oficial del pozo con la información relevante del mismo.

 <b>Weatherford</b> <sup>®</sup>	<b>Compact Micro-Imager</b> <b>"CMI - Fracture"</b> <b>Interpretation Results</b> <b>Scale 1:500</b>		
			
COMPANY:	<b>SAVIA PERU S.A</b>		
WELL:	<b>LO6-34D</b>		
FIELD:	<b>LOBITOS OFFSHORE</b>		
PROV/STATE:	<b>PIURA</b>	COUNTRY:	<b>PERU</b>
Location:	N: 9°508,654.42 m E: 459,050.91 m	Latitude:	Other Services:
API:		Longitude:	
Licence:			
Permanent Datum:	Elevation:	Elevations:	K.B.: 385.00 Feet
Log measured from	0.00 Feet above Permanent Datum	D.F.:	
Drilling measured from	DF	G.L.:	335.00 Feet
Date	10-FEB-2014		
Run Number	2		
Service Order	885		
Depth Driller	8180.00 Feet		
Depth Logger	8164.20 Feet		
First Reading	8133.20 Feet		
Last Reading	6900.00 Feet		
Casing Driller	457.20 @ 5013.00 Feet	@	
Casing Logger	5013.50 Feet		
Bit Size	8.50 inches		
Hole Fluid Type	WBM		
Density	11.40 lb/USg	62.00 sec/qt	
pH	9.40	5.00 ml/30Min	
Sample Source	ACTIVE PIT		
Rm @ Measured Temperature	0.225 ohm-m @ 75.00 deg F	@	
Rmf @ Measured Temperature	0.139 ohm-m @ 75.00 deg F	@	
Rmc @ Measured Temperature	0.371 ohm-m @ 75.00 deg F	@	
Source Rmf	Rmc	PRESS	
Rm @ BHT	0.15 @ 116.0 @	@	
Time Since Circulation			
Maximum Recorded Temperature	116.00 deg F @	@	
Equipment No.	Location	2 TALARA	
Recorded By	P. DURAN/E. ROLDAN		
Witnessed By	A. ORTEGA		

**Figura 1. Cabezal de registros LO6 – 34D.**

## 1. METODOLOGÍA DE TRABAJO

El procesamiento e interpretación fue realizado utilizando el software **Well Imager™** (propiedad de Weatherford).

Las principales actividades realizadas fueron:

- Determinación de los buzamientos de las capas para la interpretación estructural y caracterización de las fracturas naturales (buzamiento y rumbo).
- Descripción de rasgos texturales que pudieran influir en la porosidad y permeabilidad de las unidades registradas.
- Presentación grafica de los buzamientos de capas y fracturas en redes estereográficas, así como en rosetas de azimut de buzamientos.
- Identificación de características geológicas importantes como superficies de erosión, estratificaciones cruzadas, entre otros.

## 2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y FUNCIONAMIENTO DE LA HERRAMIENTA



Figura 2. Patines de la herramienta CMI.

La herramienta de imágenes micro-eléctricas de pared de pozo CMI consta de ocho brazos opuestos, 4 superiores y 4 inferiores. Los brazos superiores constan de 20 electrodos cada uno y los inferiores 24 electrodos cada uno, haciendo un total de 176 electrodos. Estos electrodos adquieren igual número de curvas de resistividad, que posteriormente son procesadas y transformadas en imágenes o mapas micro-eléctricos de la pared del pozo.

La orientación de los patines, así como los movimientos de la herramienta a lo largo del eje del pozo, están controlados por un arreglo de magnetómetros, inclinómetros y acelerómetros triaxiales. Con la información que proporcionan, se determina la posición precisa de todos los elementos de la herramienta en el espacio y por lo tanto la orientación geográfica de los rasgos geológicos detectados.

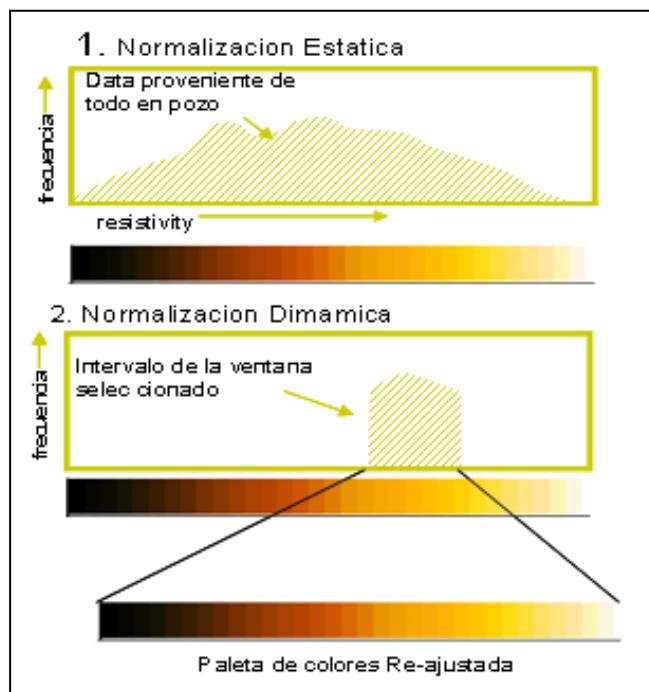
Cada 0.2 pulgadas de movimiento del cable de registro, se obtiene una medición de resistividad por cada uno de los electrodos, obteniendo con las 176 curvas obtenidas una resolución vertical de 5 mm, con una cobertura perimetral de 80% en pozos de 8.5 pulgadas de diámetro.

Esto proporciona imágenes de resistividad de la pared de pozo de alta resolución y nitidez, logrando visualizar una gran variedad de características geométricas y texturales de las rocas registradas. Esta herramienta emplea el método de los ocho patines para medir la resistividad y diámetro del pozo.



**Figura 3. Detalle del patín que es parte principal de una herramienta CMI**

Se utiliza un código de colores para leer imágenes micro-eléctricas de CMI; tonos claros para altas resistividades (bajas conductividades) y tonos más oscuros nos indica resistividades cada vez menores (altas conductividades) (Figura. 4).

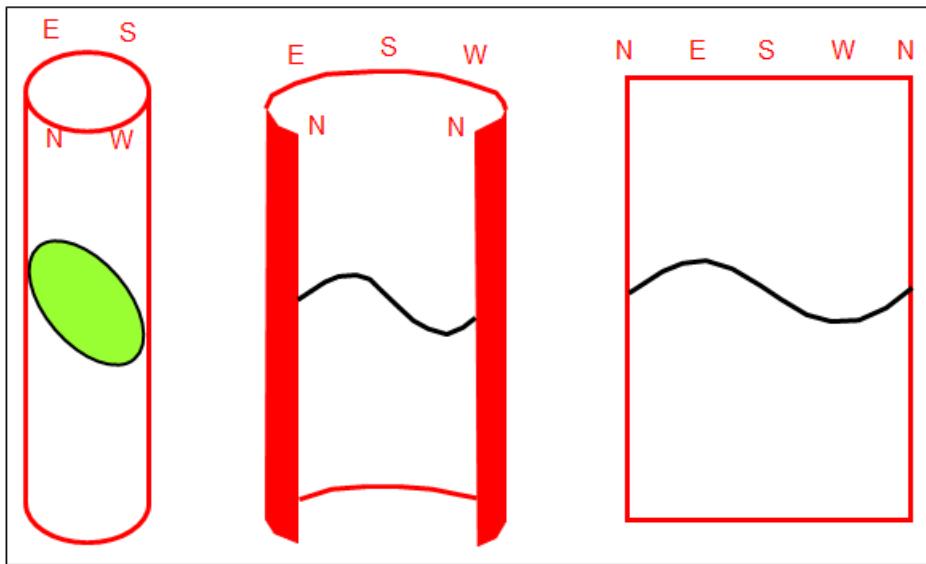


**Figura 4. Generación de imágenes (Escala de Colores).**

Las altas conductividades pueden ser ocasionadas por minerales conductores de la electricidad, como cierto tipo de arcillas, pirita y también la presencia de filtrado de lodo no resistivo en fracturas, cavidades de disolución o en cualquier tipo de espacio poroso.

Los eventos geológicos más comunes que constituyen planos bien definidos son: límites de capas, fracturas y fallas; éstos se observan en las imágenes como sinusoides, las cuales corresponden a las trazas de los eventos planares en la pared del pozo.

Las sinusoides se generan al desarrollar en dos dimensiones la superficie cilíndrica del pozo cortada por eventos planares, no perpendiculares ni paralelos al eje de la herramienta (eje del pozo) como se muestra en la Figura 5.



**Figura 5. Orientación de Planos.**

La amplitud de estas sinusoides aumenta en la medida que lo hace el ángulo formado entre dichos planos y el eje de la herramienta.

El azimut del buzamiento aparente de los eventos de este tipo, es dado por la orientación de la línea de máxima pendiente del plano representado por la sinusoide formada al cortar éste la pared cilíndrica del pozo, es decir la orientación de la línea que une la parte más alta con la más baja de la sinusoide. Cuando el pozo es vertical, la amplitud de la sinusoide es directamente proporcional al ángulo de inclinación o buzamiento del evento.

Los estudios basados en imágenes de CMI se analizan en una estación de trabajo utilizando el software **Well Imager™**, que constituyen un gran apoyo en la interpretación geológica y ofrecen las siguientes ventajas en la prospección de hidrocarburos:

- Caracterización de cuerpos sedimentarios (geometría de capas delgadas, laminaciones, tipo de estratificación, etc.).
- Proporciona una metodología para el análisis estructural (determinación de buzamientos de límites de capas, fallas, fracturas, etc.).

- Aporta las bases para el establecimiento de estudios sedimentológicos de detalle (espesor de láminas y capas, direcciones de aporte, tipo de estratificación, relación arcilla/arena etc.)

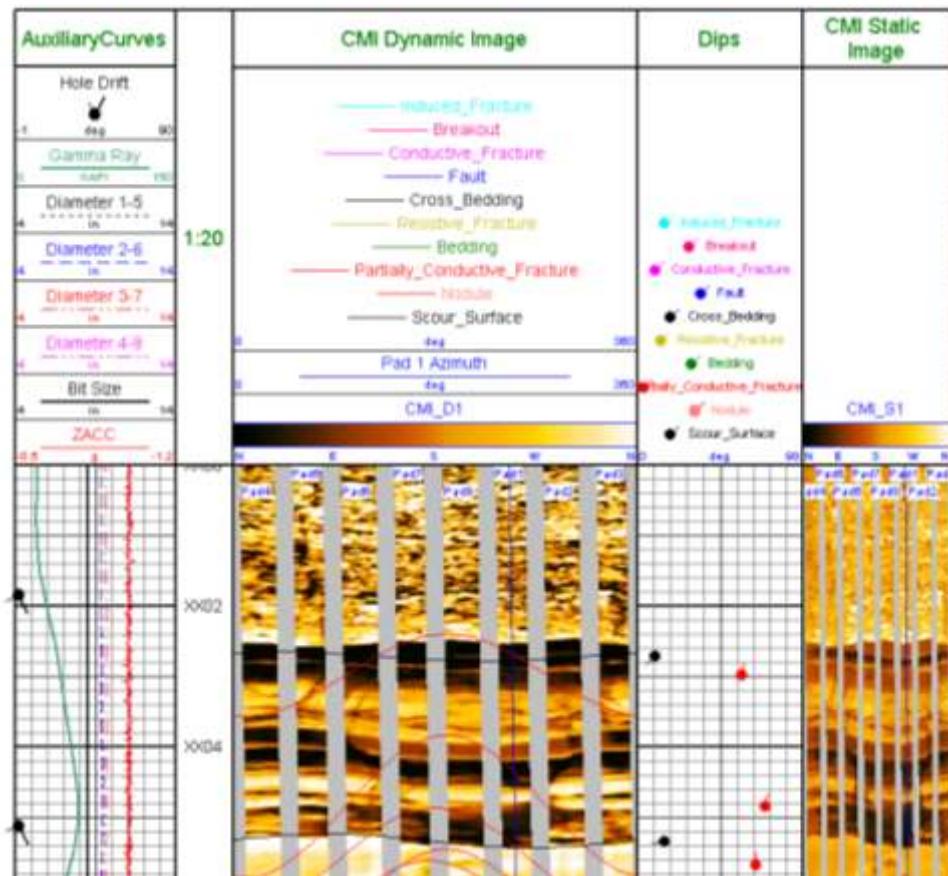
### 3. DESCRIPCIÓN DEL REGISTRO IMAGEN ESTÁTICA Y DINÁMICA CMI 1:20 – 1:200

La presentación gráfica de las imágenes se realiza en dos registros independientes: uno a escala vertical 1:20 para interpretación a detalle y otro a escala vertical 1:200 para una visualización rápida del comportamiento estructural y la concentración de características de las estructuras interpretadas.

**Pista 1:** La curva de rayos Gamma; los símbolos tipo *tadpole* muestran la magnitud de la desviación del pozo de acuerdo a la posición de la cabeza del *tadpole* en escala de desviación que puede variar de 0° a 90°. La dirección indicada por la cola del *tadpole* corresponde a la dirección de la desviación del pozo con respecto al Norte magnético. Se presentan cuatro curvas correspondientes a cuatro diámetros ortogonales del agujero y una al diámetro de la barrena (Bit Size) así mismo se presenta la curva del acelerómetro que indica cambios en la velocidad a lo largo del eje de la herramienta (eje Z).

**Pista 2:** Indica la escala vertical de profundidades medidas de MD (*Measure Depth*) del pozo.

**Pista 3:** Se presentan las imágenes dinámicas de CMI normalizadas. El objetivo de estas imágenes es realizar eventos que por pertenecer a zonas de resistividad extrema (alta ó baja), que están enmascarados y no es posible verlos sin este procesamiento. Sobre la imagen dinámica están graficadas las sinusoides correspondientes a planos de límites de estratificación, superficies de contacto de unidades y fracturas.



**Figura 6. CMI – Estática y Dinámica. Escala 1:20 y 1:200**

**Pista 4:** Los buzamientos de la estratificación y fracturas son presentados con *tadpole* en una escala de 0° a 90°, la posición de la cabeza del *tadpole* en esta escala indica la magnitud del buzamiento verdadero. La dirección verdadera del buzamiento con respecto al Norte magnético es dada por la dirección señalada por la cola del *tadpole* que puede variar en cualquier dirección entre 0° y 360°. En este track también se presentan los gráficos polares, en los cuales el centro del estereograma representa el 0° y 90° corresponde a la circunferencia. Este grafico nos permite identificar por intervalos de profundidad fijados las diversas variaciones del azimut del buzamiento de los diferentes rasgos identificados en la imagen.

**Pista 5:** Se presentan las imágenes estáticas de CMI normalizadas, para observar zonas de resistividades extremas (altas o bajas) a lo largo del intervalo.

#### 4. CONTROL DE CALIDAD DE LA INFORMACIÓN

El registro de imagen CMI adquirido en el pozo **LO6-34D** fue cargado, procesado e interpretado siguiendo la metodología empleada por el grupo de *Sub-Surface evaluation Center* de Weatherford con el software *Well Imager*. Esta metodología consiste en hacer una revisión y corrección por inclinometría o “*shift*” de los datos, de ser necesario, con el fin de ajustar perfectamente en profundidad las imágenes generadas para que en el momento de la interpretación cada una de los eventos interpretados sea posicionada correctamente. La corrección de inclinometría se hace ejecutando el modulo “*Kalman filter*”. El filtro de *Kalman* produce estimaciones de los verdaderos valores de las mediciones y sus valores correspondientes, calculados mediante la predicción de un valor, la estimación de la incertidumbre del valor predicho, y calcular la media ponderada del valor previsto y el valor medido. El mayor peso se le da al valor con la menor incertidumbre.

Las estimaciones realizadas por el método tienden a estar más cerca de los verdaderos valores de las mediciones originales debido a que la media ponderada se ha estimado una incertidumbre mejor que cualquiera de los valores que entró en la media ponderada. Esta técnica es usada con los datos de inclinometría para mejorar en gran medida la operación de Speed Correction. Así mismo se compara la medida de la declinación magnética, de la intensidad del campo magnético y gravimétrico con la de valores teóricos obtenidos mediante tablas. A medida que la herramienta recorre el pozo, puede rotar e inclinarse de modo que el grafico de los valores de "X" y "Y" de los magnetómetros y los acelerómetros debe definir un círculo o una porción de círculo, como el que muestra las Figuras 7 y 8. Luego se efectúa la normalización de los datos generando imágenes estáticas y dinámicas a partir de las cuales se efectúa la interpretación.

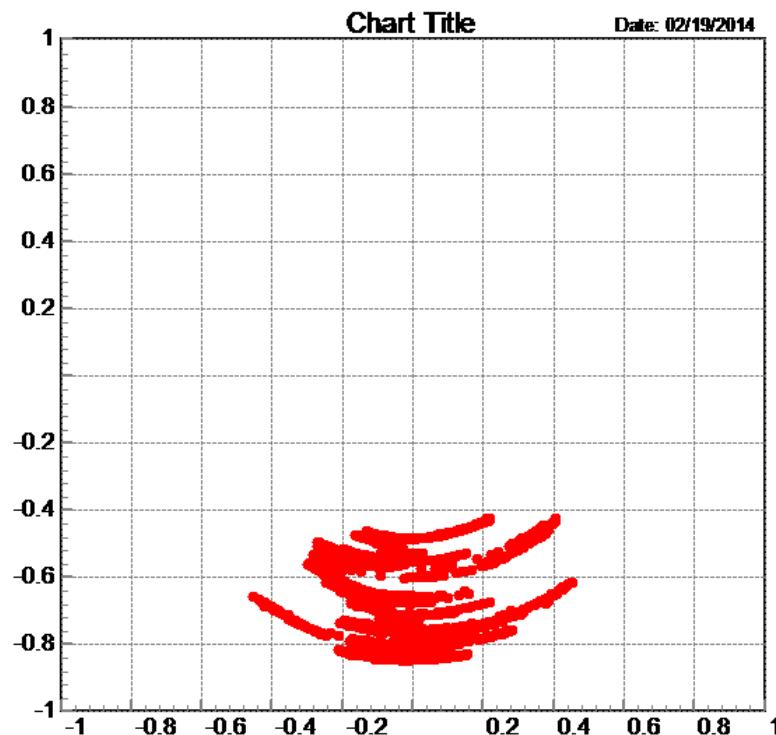


Figura 7. Gráfica de valores de Acelerómetro LO6-34D

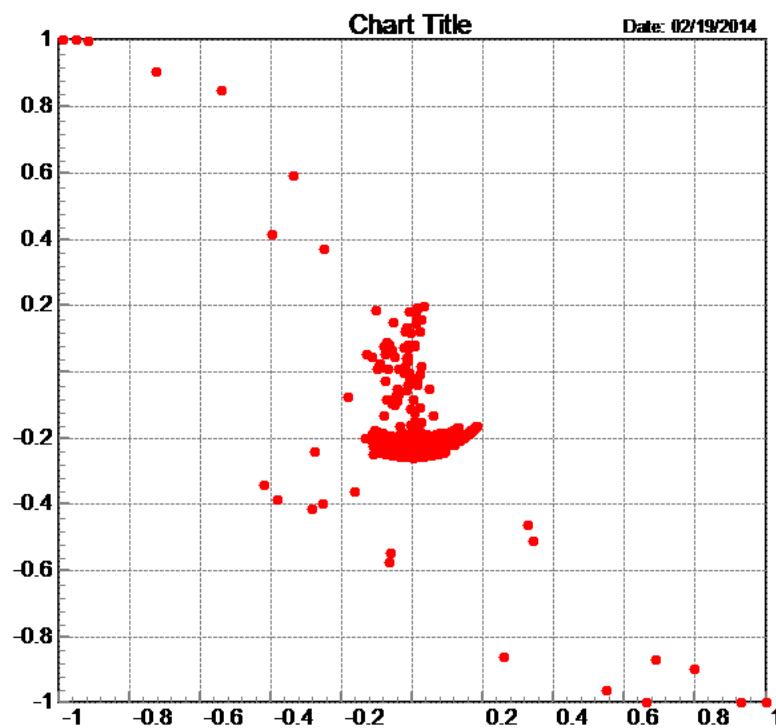


Figura 8. Gráfica de valores de Magnetómetro LO6-34D

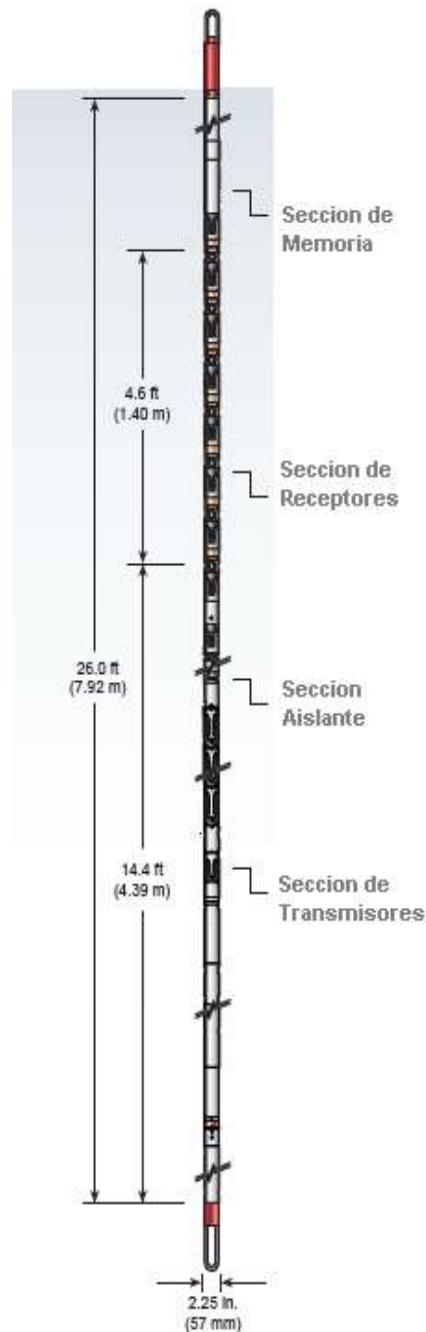
## 5. ESPECIFICACIONES Y FUNCIONAMIENTO TECNOLOGIA CXD

La herramienta Compact Dipole Sonic (CXd) consiste en tres secciones: una sección de transmisores, una sección de memoria y una sección de receptores (Ver figura 1).

La sección de transmisores cubre un ancho de banda amplio emitiendo una señal de alta amplitud. Esta señal es capaz de alcanzar los distintos ambientes y consiste en tres transmisores: Monopole, X-Dipolo e Y-Dipolo.

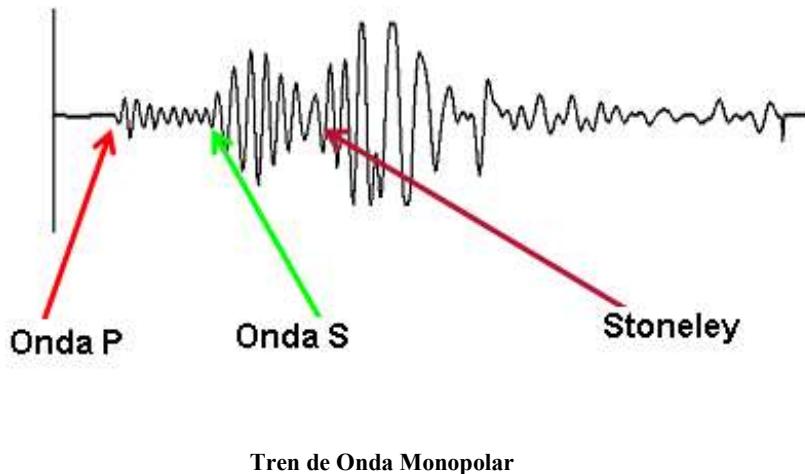
La sección de memoria graba todos los trenes de onda en 8GB usando un comando interno UTB (Universal Tool Bus). Esto ocurre de manera independiente al sistema de comunicación del cable Wireline.

El sistema de receptores cuenta con 8 estaciones, la cual consiste en 4 elementos ortogonales capaz de generar una secuencia de 96 trenes de onda. El tren de onda dipolar tiene un muestreo de 20ms, y el tren de onda monopolar tiene uno de 10ms.



**Herramienta CXD.**

El tren de onda **monopolar** emite una energía en todas las direcciones radiales a partir del eje de la herramienta. Un tren de ondas monopolar es compuesto por muchos arribos. Los arribos más importantes se encuentran delineados por la onda compresional, la onda de cizalla y la onda Stoneley. La onda compresional se determina por la primera llegada del tren de onda.



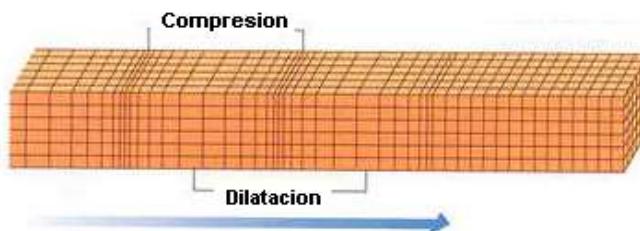
Un transmisor **dipolar** produce una onda positiva en un lado de la herramienta y una onda negativa en el otro lado. Esta onda induce un desplazamiento en la formación que es perpendicular a la dirección de propagación de la onda en la formación, que por definición corresponde a una onda de cizalla o de corte.

El transmisor de la onda dipolar produce un pulso de baja frecuencia, de aproximadamente 1 KHz. El transmisor de la onda monopolar opera a una frecuencia mayor, aproximadamente 20 KHz.

Las ondas compresional y de cizalla son inducidas dentro de la formación por refracción de un pulso acústico producido por el transmisor. La onda Stoneley, también llamada onda de tubo, es una onda que viaja en la interface entre el fluido de perforación y la formación.

## La Onda Compresional

La onda compresional también es llamada ondas Primaria u onda P. Se propaga en dirección paralela al desplazamiento de las partículas, en forma de compresiones y dilataciones sobre el medio. Su movimiento resulta del esfuerzo o fuerza de deformación aplicada.



### Propagación de la Onda Compresional

La velocidad de la onda compresional ( $V_p$ ) puede ser descrita en función de las constantes elásticas del módulo de Bulk ( $K$ ), el módulo de cizalla ( $G$ ) y la densidad del medio ( $\rho$ ):

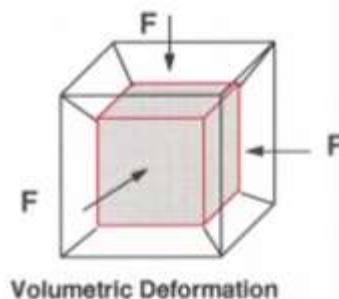
$$V_p = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}G}{\rho}}$$

La velocidad de la onda P,  $V_p$ , es inversamente proporcional a la lentitud de la onda compresional (DTC) dada por la siguiente ecuación:

$$DTC = \frac{10^6}{V_p}$$

## Módulo de Bulk

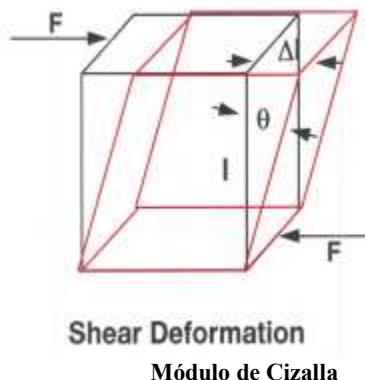
El módulo de Bulk,  $K$ , se define como la deformación volumétrica que experimenta un material bajo una presión de confinamiento uniforme. En esencia  $K$  se refiere a la compresibilidad del material.



**Módulo de Bulk**

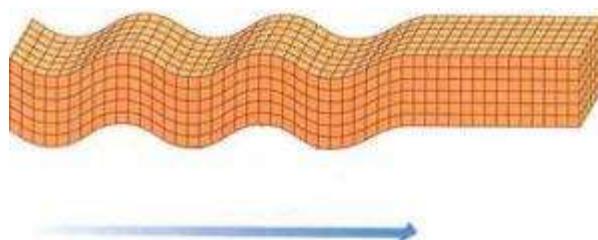
## Módulo de Cizalla

El módulo de cizalla, G, es la Resistencia del objeto a cambiar su forma.



## Onda de Cizalla

La onda de cizalla es también referida como onda secundaria u onda S. Estas ondas son más lentas y representan el segundo arribo del tren de onda. Se propaga en dirección perpendicular al desplazamiento de las partículas. La onda de cizalla o de corte, solo se puede desplazar en medios sólidos. Esto ocurre, debido a que la propagación de la onda resulta de la deformación de un sólido elástico.



Propagación de la Onda de Cizalla.

La velocidad de la onda de cizalla o de corte ( $V_s$ ) se encuentra dada por la siguiente ecuación en función del módulo de cizalla (G) y la densidad ( $\rho$ ):

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

Como los fluidos como el agua son compresibles, estos permiten el movimiento de las partículas típicas en una onda compresional y por ello, permiten transmitirla. Sin embargo, los fluidos no tienen rigidez y no permiten el movimiento de las partículas de una onda de corte.

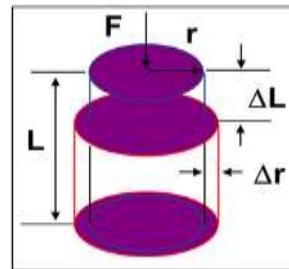
La velocidad de la onda de cizalla o de corte ( $V_s$ ) es inversamente proporcional a la lentitud de la onda de cizalla o de corte ( $DTS$ )

$$V_s = \frac{10^6}{DTS}$$

### Relación de Poisson

La relación de Poisson,  $\mu$ , representa la relación de deformación lateral contra la deformación longitudinal cuando el esfuerzo es aplicado en el eje longitudinal del material, representado por la siguiente relación en función de las velocidades:

$$\mu = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)}$$

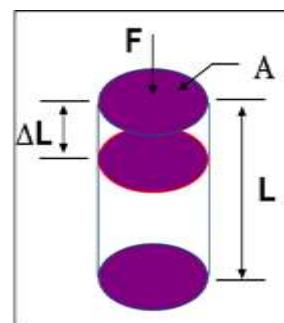


Relación de Poisson.

### Módulo de Young

El módulo de Young,  $E$ , se define como la relación del esfuerzo aplicado sobre la deformación del material en uno de sus ejes. Por tanto, esta medición representa qué tanto un material se puede deformar bajo la respuesta de un esfuerzo externo. Esta relación se puede definir en función del módulo de corte ( $G$ ) y de la relación de Poisson ( $\mu$ ):

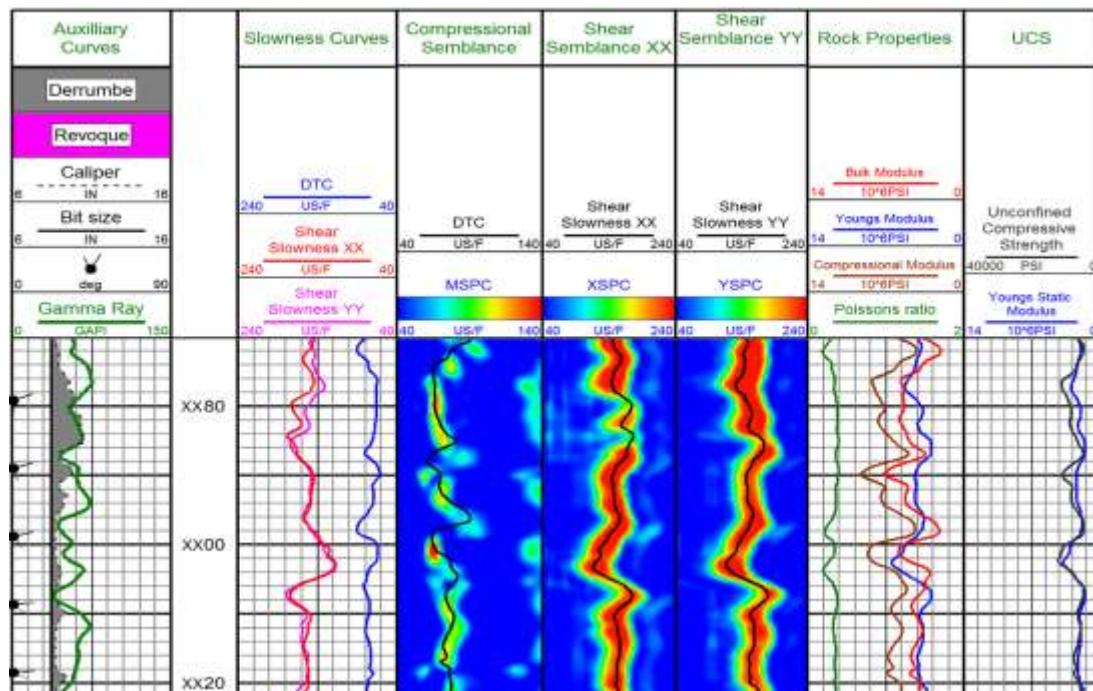
$$E = 2G(1 + \mu)$$



Módulo de Young

## 6. DESCRIPCIÓN DEL REGISTRO CXD

### 6.1 Compressional-Shear-Propiedades / CXD



Registro tipo Compresional-Shear-Propiedades (Escala 1:200 y 1:500)

#### Pista 1: Curvas Auxiliares

Gamma Ray (verde), Bit size (negra-continua), Caliper (negra-punteada), Desviación del pozo (tadpole), así como el sombreado de áreas para revoques y derrumbes.

#### Pista 2: Escala de profundidad MD en pies

#### Pista 3: Curvas de Lentitud

Lentitud de la Onda Compresional o P-Wave Slowness (azul), Lentitud de la onda de Cizalla YY o YY-Shear Slowness (magenta) y Lentitud de la onda de Cizalla XX o XX-Shear Slowness (roja)

#### Pista 4: Semblanza del Monopolio o Monopole Semblance

Semblanza Monopolar (VDL) y Lentitud de la onda compresional o P-Wave Slowness (negro)

#### Pista 5: Semblanza del Dipolo XX o Dipole Semblance XX

Semblanza Dipolar (VDL) y Lentitud de la onda de corte XX o S-Wave Slowness XX (negro)

**Pista 6:** Semblanza del Dipolo YY o Dipole Semblance YY  
Semblanza Dipolar (VDL) y Lentitud de la onda de corte YY o S-Wave  
Slowness YY (negro)

**Pista 7:** Propiedades Mecánicas de Roca  
Young Modulus EMOD (azul), Bulk Modulus KMOD (rojo), Compressional Modulus MMOD (marrón), Poissons Ratio PR (verde).

**Pista 8:** UCS  
Unconfined Compressive Strength (negro), Young Static Modulus (azul).

## 7. DESCRIPCION GEOLOGICA BASADA EN REGISTROS ELECTRICOS

La Sección 8.5" ha sido registrado en el intervalo 6900'-8135', con las herramientas Gamma ray, Laterolog Resistivity, Densidad-Neutrón y Sonic Cross Dipole. La bondad de esta información al que llamaremos genéricamente "registros eléctricos" fue suficiente para tentar un Análisis de Electrosecuencia. Una electrosecuencia es un intervalo definido en los registros eléctricos, a través del cual hay consistencia o cambios consistentes en cuanto a las respuestas y características de éstos, y son suficientemente distintivas de otras electrosecuencias (Rider, 2002). Seguidamente las imágenes y el Dipmeter del CMI (Compact Micro Imager) fue integrado en la interpretación geológica de las electrosecuencias.

La dirección de buzamiento de las fracturas y las capas son analizadas por intervalos de los gráficos "rose diagram", y en forma acumulada por el gráfico "Dip Azimuth Vector Plot".

### 7.1 ANALISIS E INTERPRETACION DE ELECTROSECUENCIAS

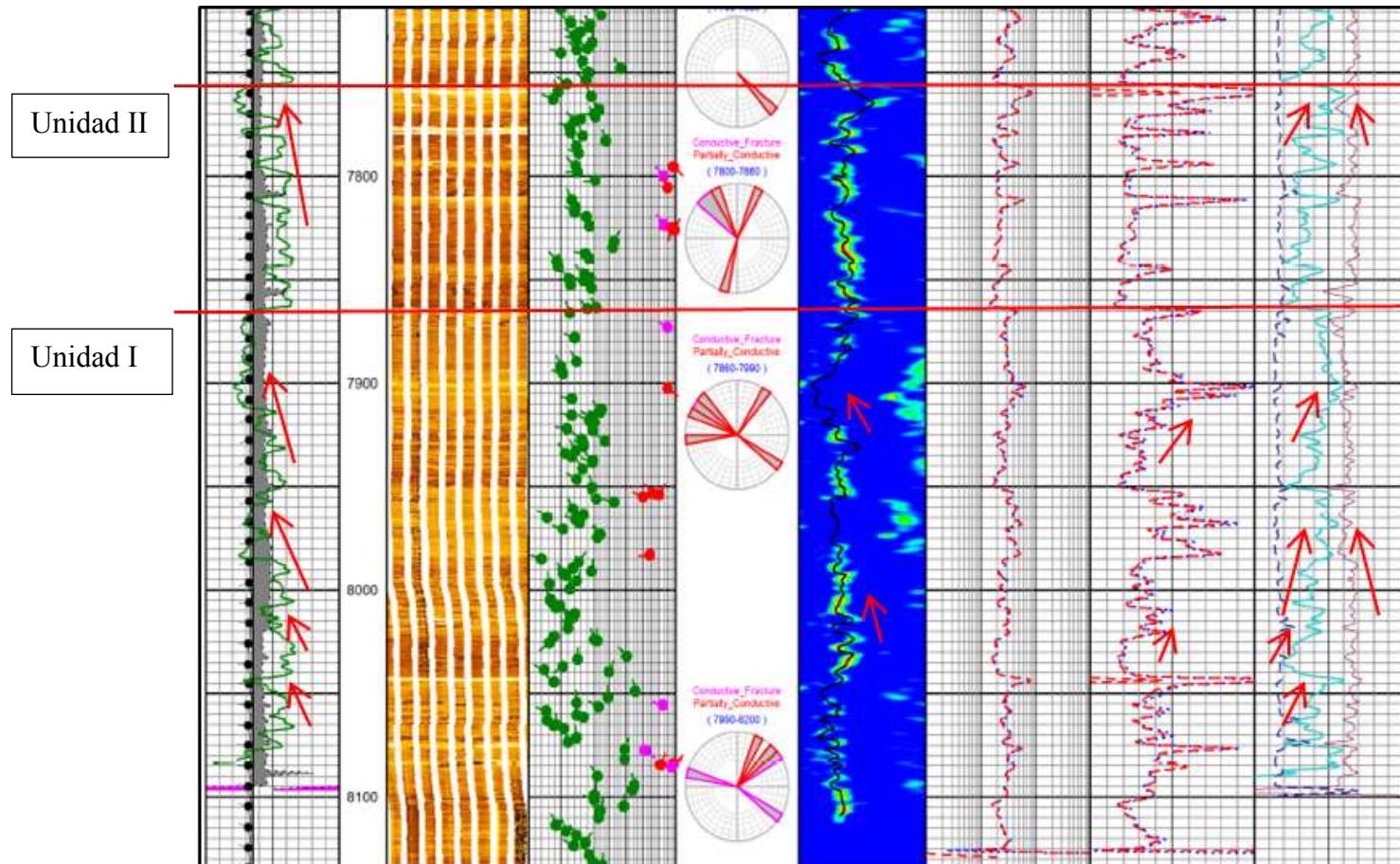
**Electrosecuencia 1.** Secuencias de arenisca en engrosamiento de grano.

#### **Unidad I: 7864' - 8135'**

Cuatro secuencias de arenisca en engrosamiento de tamaño de grano de muy fino a grueso están indicadas por la variabilidad de la curvas de neutrón, resistividad y gamma ray, ya que la presencia de abundante cemento calcáreo o dolomítico hace casi invariable la curva de densidad, con promedio 2.60 g/cm<sup>3</sup>. Menor tiempo de tránsito de la onda acústica está asociado a roca arenisca de grano grueso y por lo tanto más competente. Cada sucesión comienza con capas estratificadas ligeramente conductivas y terminan en estratos potentes ligeramente resistentes.

**Unidad II: 7756' - 7864'**

Todas las curvas muestran una forma de “embudo” en carácter aserrado variable. Esta electrosecuencia obedece a una arenisca arcillosa en la base en sucesión de engrosamiento de grano de arena muy fina a grueso con clastos sub-angulosos al tope.



**Figura 9. Intervalo 7756' – 8135'. Registro Composite: GR-CMI-Dipmeter-Profundidad-Buzamiento de Fracturas-Sónico-Resistividades (Logarítmico y Aritmético)-PEF/Neutrón/Densidad. Las flechas son anotaciones de la evolución de elementos de electrofacies (Rider 2002), esto es arenisca en engrosamiento de grano.**

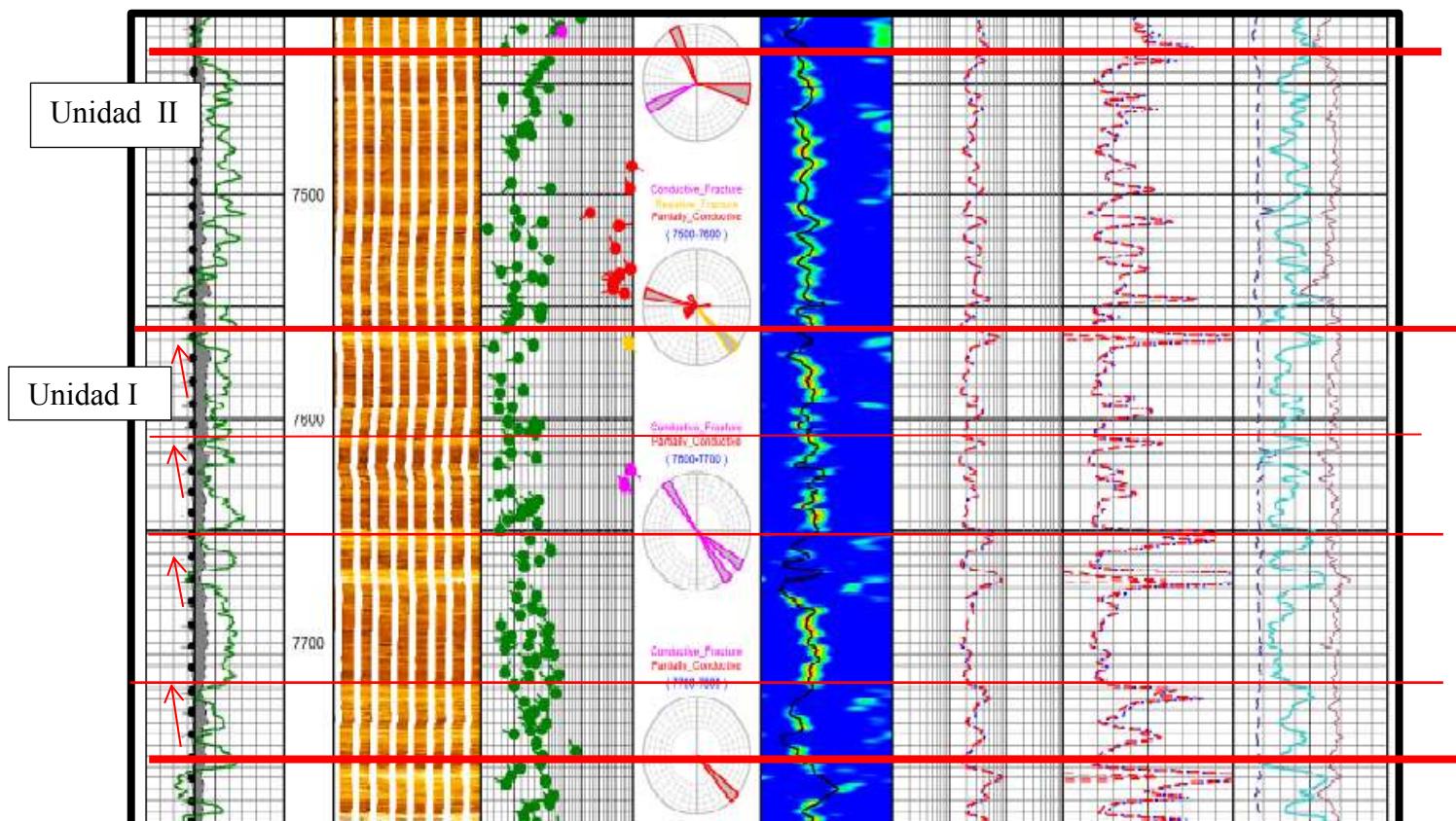
**Electrosecuencia 2.** Secuencia de capas finamente estratificadas a capas masiva.

### Unidad I: 7556' – 7756'

Se compone de 4 secuencias de arenisca en engrosamiento de estratos. Los estratos de la base son capas delgadas y los estratos en el tope son capas gruesas que terminan en contacto abrupto.

### Unidad II: 7454'-7556'

La sucesión es un ciclo completo de arenisca en afinamiento de grano/adelgazamiento de estratos y engrosamiento de grano/engrosamiento de estratos.



**Figura 10. Intervalo 7454'-7756.** La Unidad I se compone de cuatro ciclos en sucesión de engrosamiento de estratos y la Unidad II está conformada por un ciclo de afinamiento y engrosamiento.

**Electrosecuencia 3.** Lutita gris con arenisca de grano fino.**Unidad I: 7445' - 7454'**

Predominantemente claystone gris estratificada alternando con capas de baja radioactividad, alta resistividad, correspondiente a horizontes de arenisca de grano fino.

**Electrosecuencia 4.** Secuencia de arenisca en afinamiento de grano.**Unidad I: 7335' - 7445'**

La secuencia de afinamiento de grano está sugerida por el aumento de radioactividad cada vez mayor en los valores mínimos desde 30 a 45 API (arenisca cada vez más radioactiva) y en los valores máximos desde 75 a 105 API (lutita cada vez más radioactiva), y queda confirmada por el gradual aumento de separación de las curvas densidad-neutrón. Los intervalos deposicionales son de naturaleza gradada, 7407'-7399', 7366'-7357'.

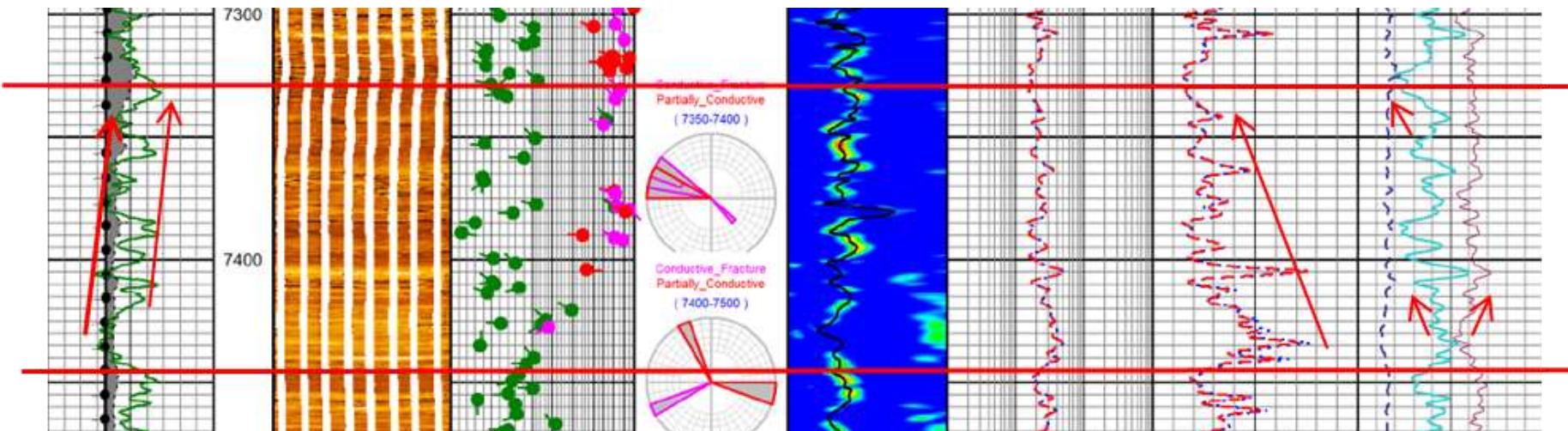


Figura 11. Intervalo 7335' – 7445'. El registro GR tiene doble anotación de electrofacies porque posee tendencia: afinamiento de grano y arcillosidad.

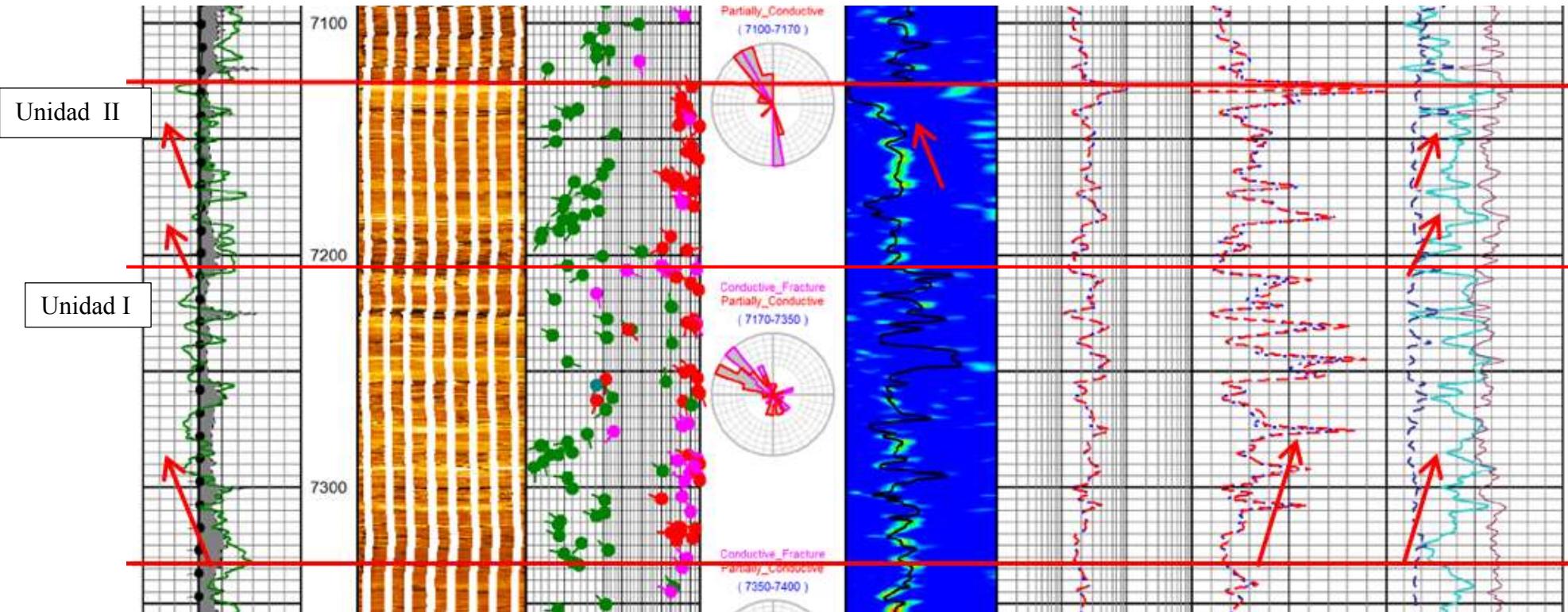
**Electrosecuencia 5.** Secuencias en energía creciente de arenisca en engrosamiento de grano fino a grueso

**Unidad I: 7205' - 7335'**

Los valores de radioactividad, resistividad y densidad-neutrón indican un perfil de engrosamiento de grano hacia arriba en cada secuencia. La secuencia se compone de estratos potentes de arenisca laminada de grano fino en la base que evoluciona a arenisca masiva de grano medio-grueso, con capas discretas de arenisca conglomerática.

**Unidad II: 7125' - 7205'**

Esta secuencia se compone de estratos menos potentes que la secuencia subyacente y se observan estructuras de deslizamiento y derrumbes (7176'-7185') y estructura de carga (7130') al tope de cada sucesión.



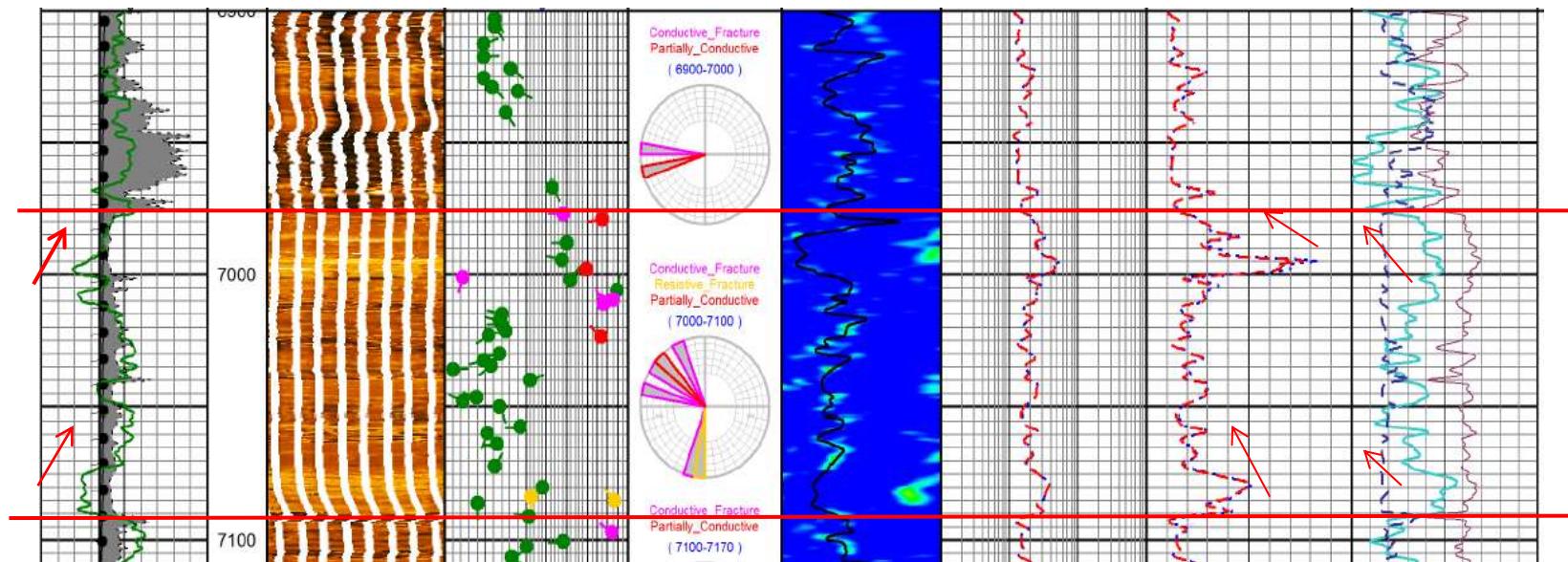
**Figura 12.** Intervalo 7125'-7335'. La mayor densidad de fracturas está concentrada en las capas superiores de tendencia de engrosamiento de grano. La dirección de buzamiento de las fracturas rota de NW en la Unidad I a WNW en la Unidad II.

**Electrosecuencia 6.** Lutita- limolita sub-laminada.**Unidad I: 7091'-7125'**

La radioactividad es constante, 80-90 API, en una sucesión de lutita-limolita sub-laminada.

**Electrosecuencia 7.** Asociación de facies arenisca conglomerática a arenisca laminada.**Unidad I: 6976'-7091'**

Los valores promedio de gamma ray aumentan de 30 a 75 API y los valores de resistividad disminuyen de 25 a 8 Ohm-m, dando muestran un perfil de “campana” con bases a 7091', 7050' y 7012', correspondiente a tres secuencias de arenisca en afinamiento de tamaño de grano de medio a muy fino. Internamente la arenisca gruesa masiva pasa a arenisca estratificada. En la imagen el contacto de la base es abrupto mostrando ciclos con estratos de base de textura de imagen fina a textura de imagen granular gruesa para hacerse laminar al tope. La textura granular gruesa se interpreta como arenisca conglomerática.



**Figura 13. Intervalo 6976' - 7091'. La base abrupta a 7012' es también un cambio drástico de la magnitud de buzamiento, de 15° a 80°.**

## Electrosecuencia 8.

### Unidad I: 6900'-6976'

Lodolita con textura de imagen globular que pasa a lutita laminada.

## 7.2 ANALISIS DE DENSIDAD DE FRACTURAS Y DIRECCION DE BUZAMIENTO DE FRACTURAS (ver Registro CMI Interactive Dips)

El registro “CMI-Fracture” se ha construido identificando manualmente el tipo de fractura: conductiva, parcialmente conductiva y resistiva siendo graficadas en forma de tadpole en la columna “CMI Interactive Dips”, y reconocidas por sus colores púrpura, rojo y amarillo, respectivamente.

Utilizando el software Well Imager, la propiedad Densidad de Fracturas ha calculado el número de fracturas por pie a lo largo del pozo y ha sido graficado en la columna “Density of the Fractures”.

- **Intervalo 6975'-7030'**

La suma de fracturas conductivas y fracturas parcialmente conductivas dan una densidad de fractura total igual a 0.13 F/pie. Las fracturas buzan al W y NW.

- **Intervalo 7125'-7180'**

La abundancia de fracturas parcialmente conductivas sumadas a las fracturas conductivas (que solo llega a 2), da una densidad de fracturas total de **0.35 F/pie**, todas buzando 70°-90° **NNW**. Este intervalo corresponde a la **Electrosecuencia 5** con buenas características de litofacies para ser roca reservorio.

- **Intervalo 7180'-7400'**

El fracturamiento es moderado alcanzando un promedio de densidad de fractura igual a 0.2 F/pie distribuida en partes iguales entre fracturas conductivas y fracturas parcialmente conductivas. Similar al intervalo sobreyacente, las fracturas son de alto ángulo y con buzamiento NW.

- **Intervalo 7480'-7545'**

La densidad de fractura 0.1 F/pie en la parte superior, aumenta rápidamente a **0.3 F/pie** de fracturas parcialmente conductivas en el sub-intervalo inferior, 7525'-7545', todas buzando al W, sin embargo la resistividad es baja.

- **Intervalo 7620'-7630'**

La densidad de fractura es moderada e igual a 0.3 F/pie.

- **Intervalo 7790'-7830'**

La densidad de fracturas de 0.15 F/pie queda igualmente distribuida entre fracturas conductivas y fracturas parcialmente conductivas. El buzamiento principal de las fracturas conductivas es hacia el NW.

- **Intervalo 7950'-7960'**

La densidad de fracturas parcialmente conductivas es **0.3 F/pie**, buzando al **NW**. Este intervalo pertenece a la **Electrosecuencia 1, Unidad I**, en la parte somital de una secuencia de engrosamiento de grano.

- **Intervalo 8075'-8090'**

La densidad de fracturas es **0.25 F/pie** entre fracturas conductivas y fracturas parcialmente conductivas con buzamiento principal al **NE**. Estas fracturas están en arenas de buena calidad de la **Electrosecuencia 1, Unidad I**.

### 7.3 ANALISIS ESTRUCTURAL DEL GRAFICO DIP AZIMUTH VECTOR

El gráfico “Walkout Plot” se genera añadiendo cada vector unidad en la dirección del azimut del buzamiento por cada azimut seleccionado de los datos de las capas (beddings) interpretadas manualmente de las imágenes CMI. De la base al tope, los cambios en la dirección del “Walkout Plot” indica cambios en la dirección del azimut del buzamiento. Este gráfico siempre se analiza de abajo hacia arriba.

#### **Sección 1: 8140'-8015'**

Este intervalo tiene una dirección de azimut acumulado hacia el NNW. El cambio de dirección de buzamiento que ocurre al tope es de un pequeño intervalo.

#### **Sección 2: 8015'-7635'**

El acumulado de los azimut de buzamiento ha girado ligeramente hacia el NW, y es la misma que la dirección de buzamiento de fracturas.

#### **Sección 3: 7635'-7205'**

Los buzamientos de capas siguen rotando en el mismo sentido anti-horario para posicionar la dirección de azimut acumulado hacia el WNW. Curiosamente la mayoría de las fracturas también tiene azimut WNW. La micro-falla observada a 7269' buza al SE al igual que las fracturas inducidas a 7264' y 7270'.

#### **Sección 4: 7205'-7008'**

El gráfico Walkout plot demuestra la subdivisión de la Electrosecuencia 4, la Unidad I pertenece al dominio de la Sección 3, dirección de buzamiento WNW, y la Sección II, al dominio de la Sección 4 con un cambio notable en

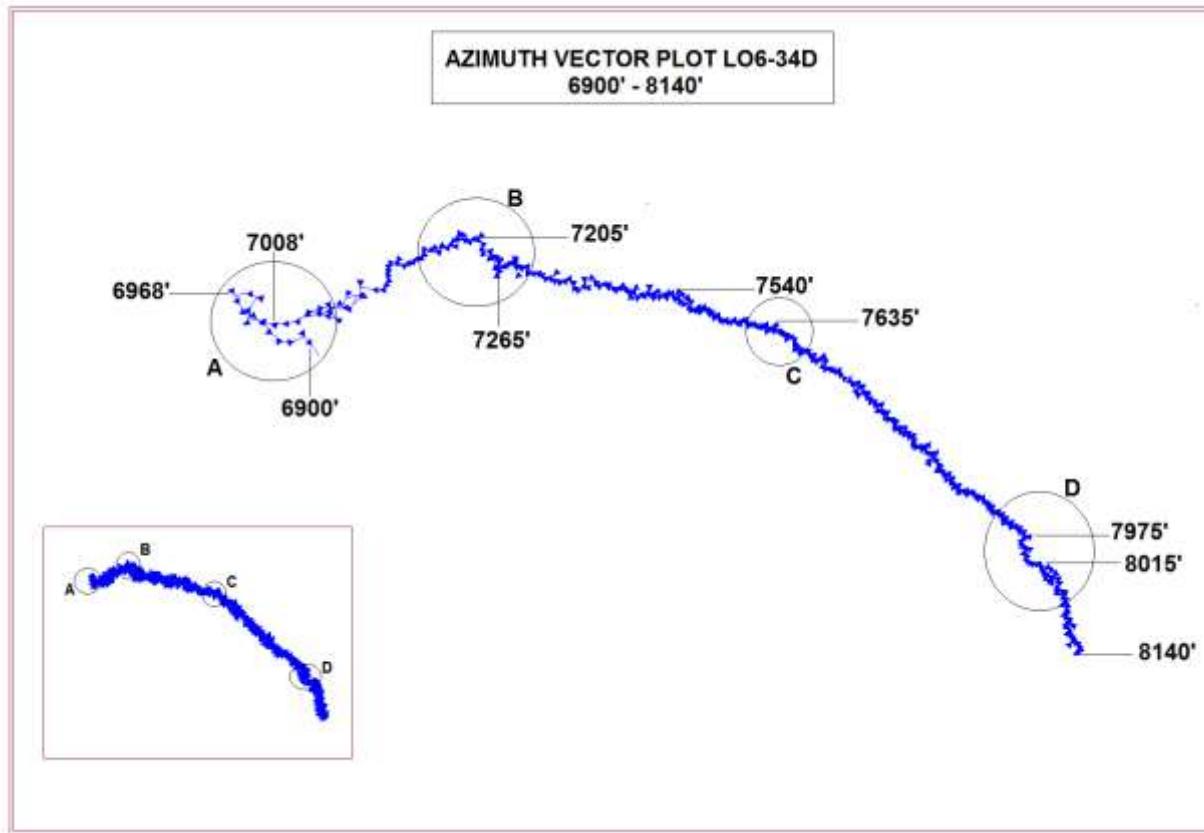
la dirección de buzamiento hacia el SW. La micro-fallas observadas a 7112' y 7026' buzan al S y SE, respectivamente. En esta Sección no se observa la similitud de la dirección de azimut de fracturas con la dirección de azimut de capas.

#### **Sección 5: 7008'-6978'**

El cambio de Sección también es un cambio litológico. Los vectores de azimut siguen un per corso sinuoso debido a que esta sección es de lutita, el vector resultante es de dirección NW. El tope de esta Sección es el tope de la Formación Mogollón.

#### **Sección 6: 6978'-6900'**

Los buzamiento de capas cambia al SE porque hay un cambio formacional.



**Figura 14.** Gráfico Azimuth Vector Plot del pozo LO6-34D. La dirección de buzamiento inicia desde el fondo a 8140' y sigue una dirección que va gradualmente cambiando desde el NNW hasta el WSW a 6968' que el tope de la Formación Mogollón.

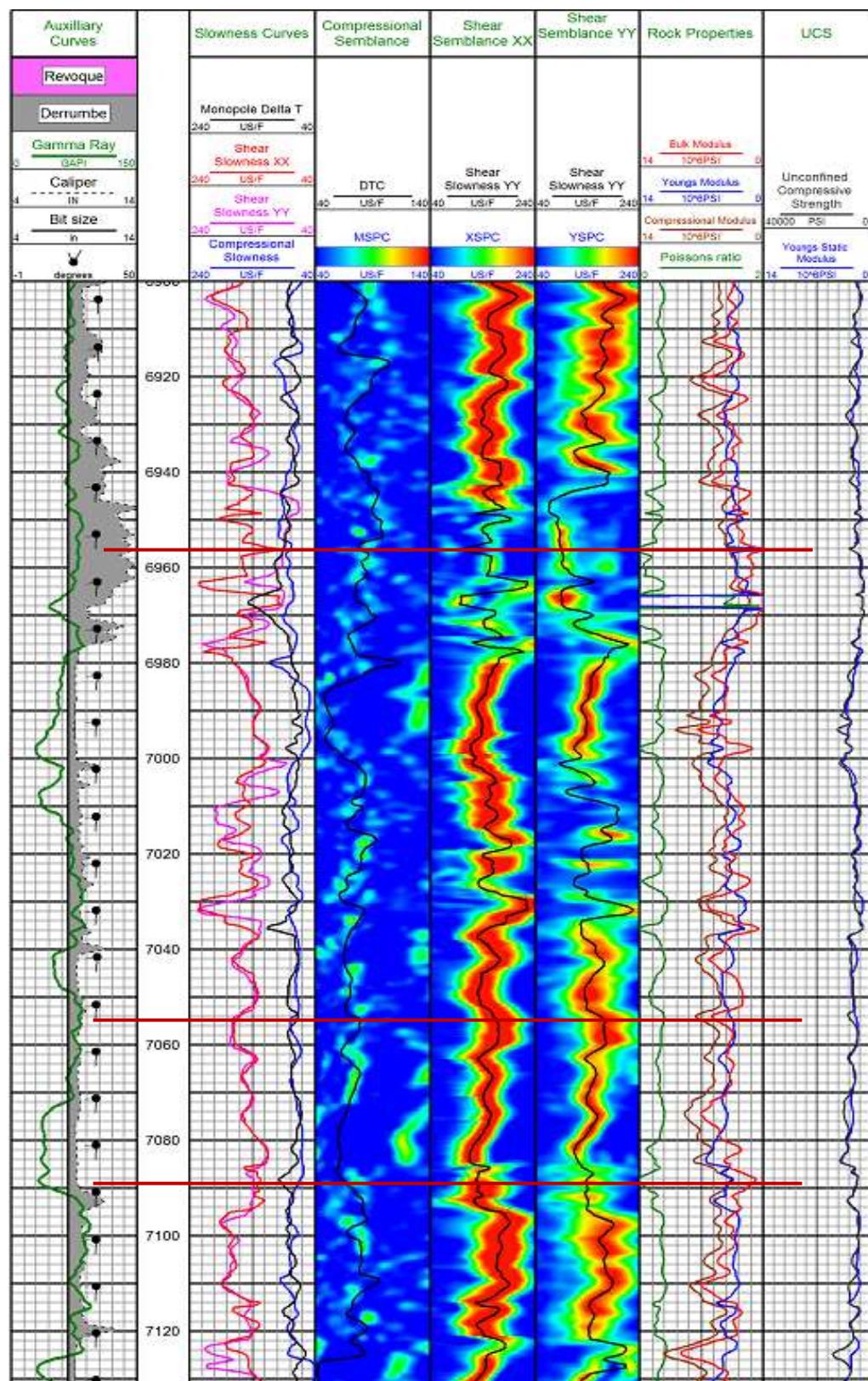
## 8. ANÁLISIS DE LA SEMBLANZA DE LAS ONDAS ACÚSTICAS

Los reservorios naturalmente fracturados son importantes en la producción de hidrocarburos. La producción depende principalmente de las fracturas por el impacto que ésta da a la permeabilidad total de la roca. El advenimiento de la tecnología del registro Sónico Dipolar ha permitido la obtención de la onda compresional, de corte en dos direcciones y Stoneley. Las ondas compresionales y de corte son mediciones principalmente de la competencia de la roca y de las fracturas. El efecto que causa a la energía acústica en la intersección del pozo con la fractura rellena de fluido está reflejado en las ondas Stoneley.

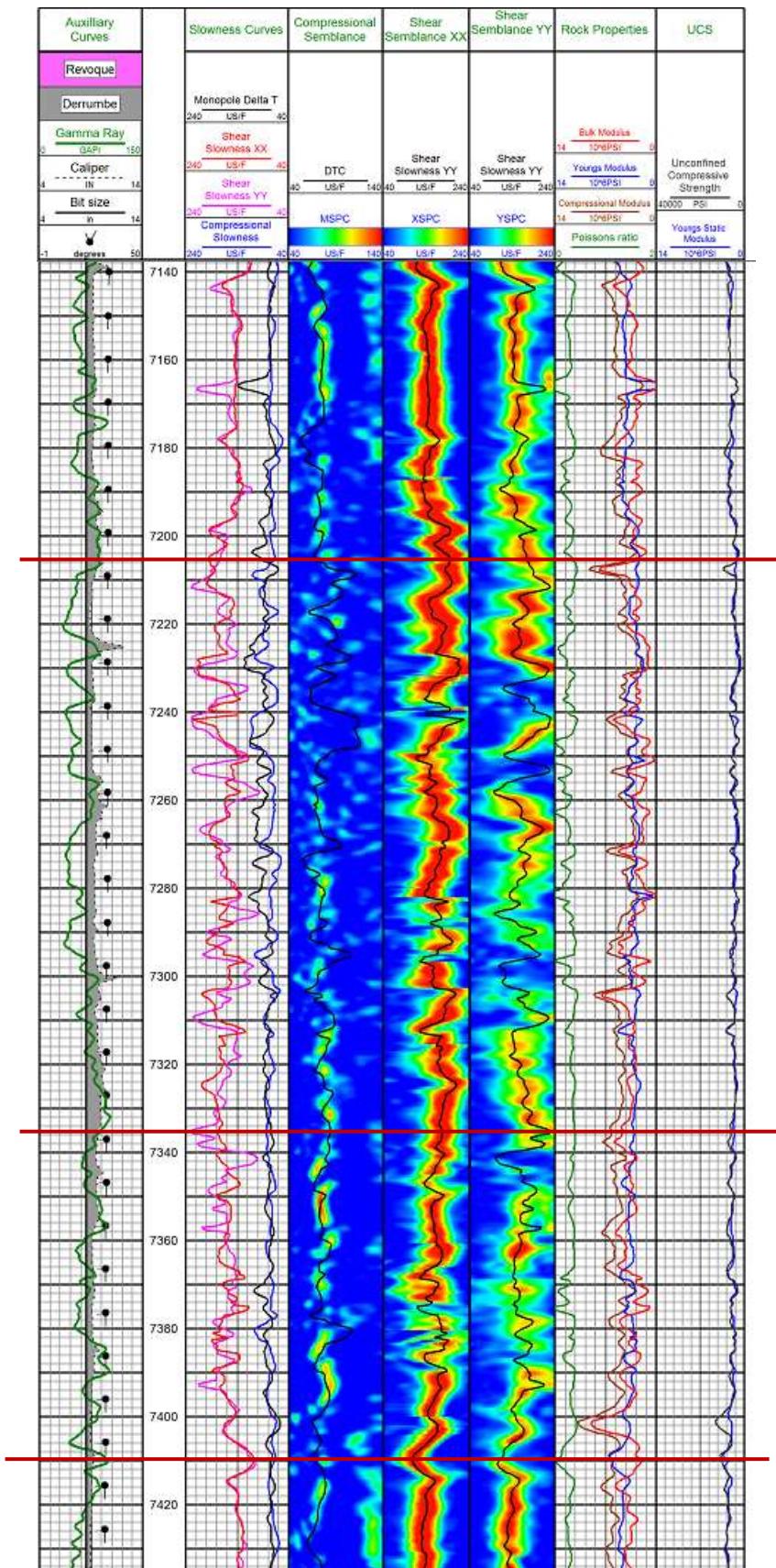
El tren de ondas es procesado con la técnica Slowness-Time-Coherence (STC) usando un algoritmo de semblanza que detecta los arribos que son coherentes a través del array del tren de ondas de retorno y estima el intervalo preciso de sus tiempos de tránsito. Así se obtuvo el tren de ondas compresionales, de corte y Stoneley.

Por otro lado, las propiedades elásticas se distinguen de las propiedades mecánicas propiamente dicha porque ellas son mediciones indirectas derivadas de fórmulas en la que interviene las velocidades de las ondas elásticas y la densidad.

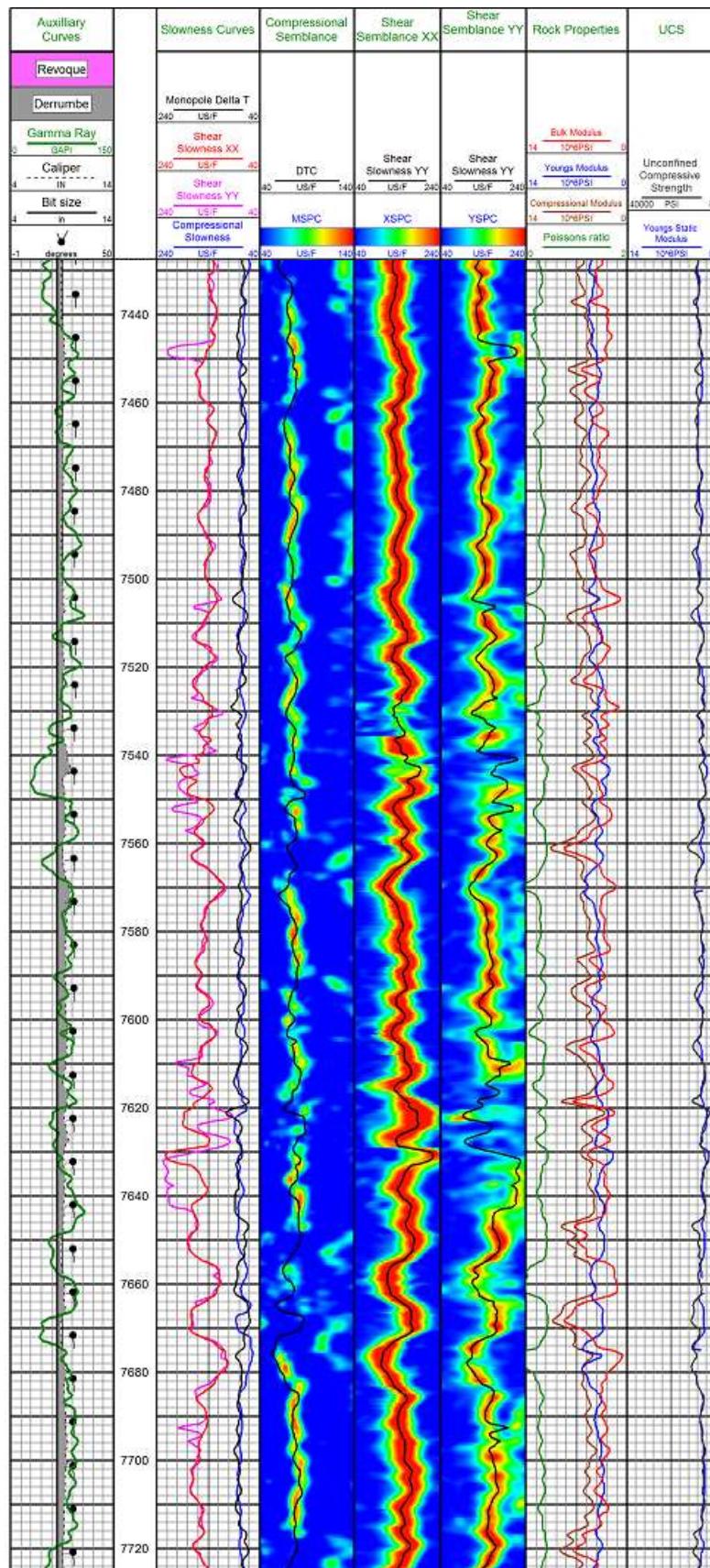
El tren de ondas es un conjunto de amplitud de ondas compresionales, de corte XX e YY (por el modo de transmisión en dos direcciones perpendiculares) y Stoneley. La amplitud de onda es un atributo acústico que aumenta considerablemente frente a litología poco competente, en zonas con fracturas y aumenta bruscamente en zona de falla.



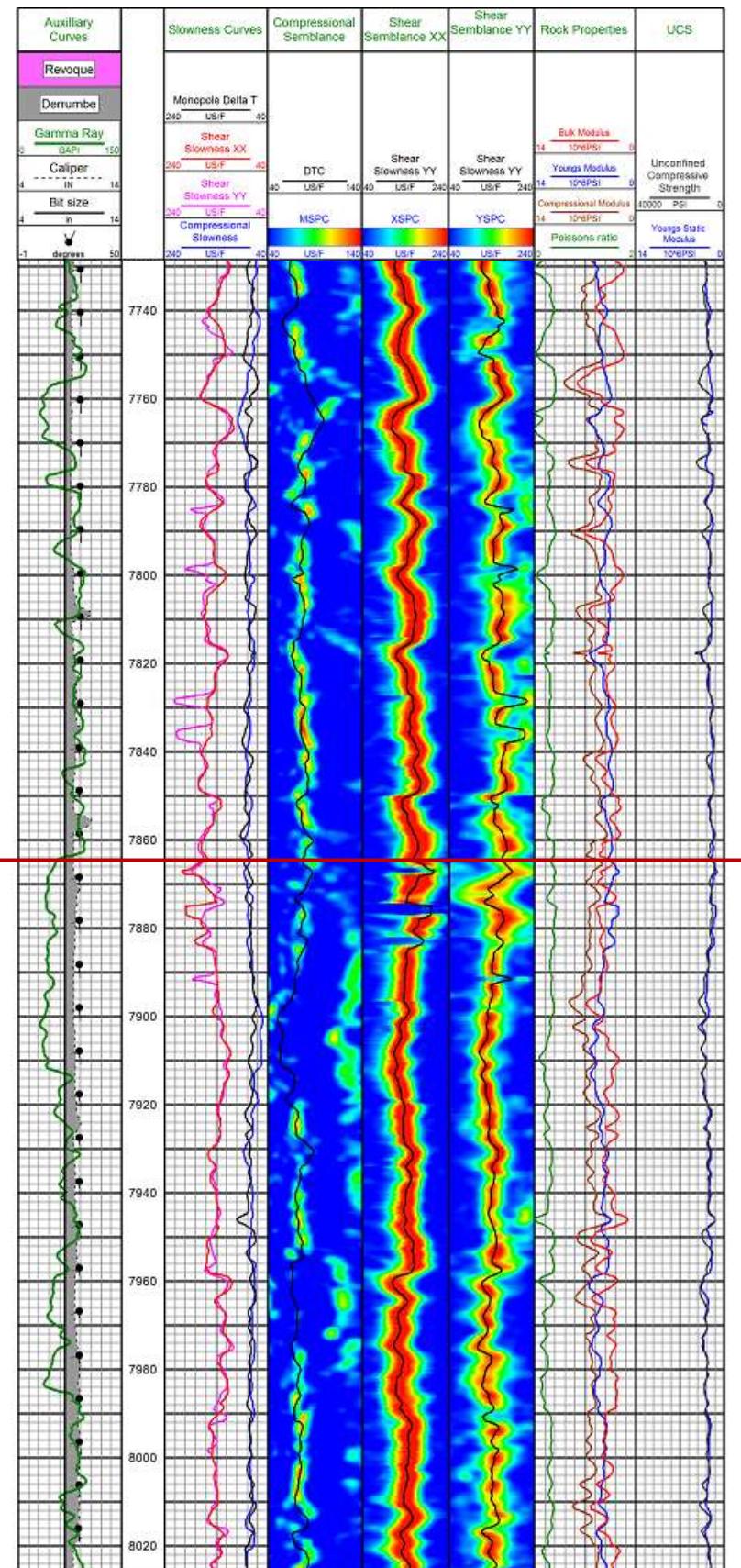
**Figura 15. CXD LO6-34D. Rock Properties. Depth 6900' – 7130'**



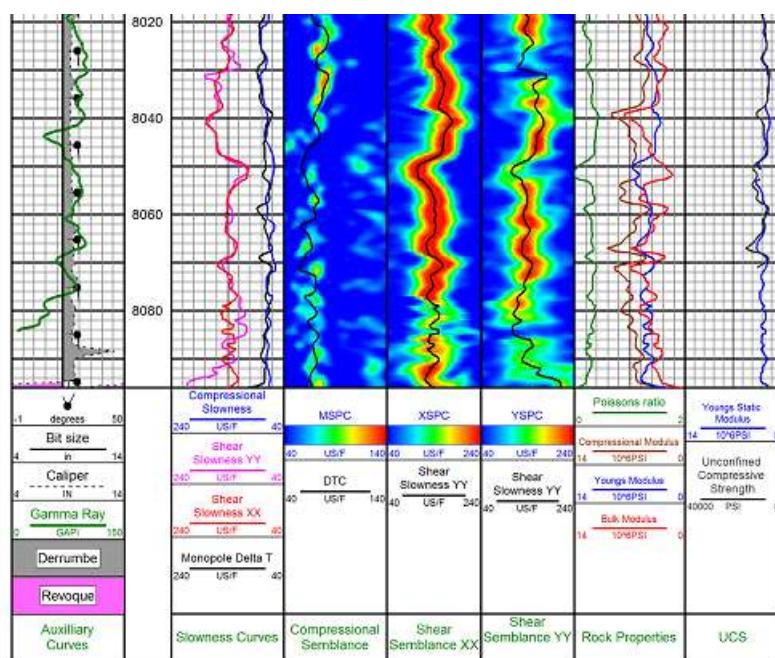
**Figura 16. CXD LO6-34D. Rock Properties. Depth 7130' – 7430'**



**Figura 17. CXD LO6-34D. Rock Properties. Depth 7430' – 7720'**



**Figura 18. CXD LO6-34D. Rock Properties. Depth 7720' – 8020'**



**Figura 19. CXD LO6-34D. Rock Properties. Depth 8020' – 8096'**

## 8.1 ESTADÍSTICAS DE ONDAS Y PROPIEDADES MECANICAS

Los cálculos de estadísticas corresponden a la selección de intervalos que presentan similitud litológica donde se ha excluido zonas afectadas por derrumbes observadas a través de mediciones de Caliper.

**Tabla 1. INTERVALO 6900 - 6976**

CURVE	UNITS	MIN	MAX	MEAN	MEDIAN	MODE	STD DEV.
CLDC	IN	240.639	357.694	286.950	283.803	244.768	33.454
DTC	US/F	60.167	104.724	80.610	79.810	88.579	10.292
DTSX	US/F	94.602	225.405	158.386	156.250	174.375	23.187
DTSY	US/F	65.263	218.959	138.546	145.594	#N/A	39.303
EMOD	10^6PSI	-24.310	17.842	3.430	3.198	2.837	3.545
KMOD	10^6PSI	-3.447	6.888	2.865	3.086	#N/A	1.756
MMOD	10^6PSI	1.568	8.230	4.722	4.739	4.620	1.392
PR	10^6PSI	-6.916	1.952	0.235	0.316	0.393	0.719
UCS-AVG	PSI	2325.785	9183.061	5093.632	4921.679	#N/A	1550.621
UMOD	10^6PSI	0.627	3.776	1.393	1.343	1.053	0.500

**Tabla 2. INTERVALO 6976 - 7091**

CURVE	UNITS	MIN	MAX	MEAN	MEDIAN	MODE	STD DEV.
CLDC	IN	227.542	294.206	240.238	238.151	231.674	9.560
DTC	US/F	48.041	113.657	69.912	69.301	68.268	10.980
DTSX	US/F	115.010	226.156	150.398	148.348	138.125	21.810
DTSY	US/F	85.174	226.759	147.784	142.704	127.868	24.401
EMOD	10^6PSI	1.990	6.505	4.120	4.080	4.036	0.931
KMOD	10^6PSI	0.432	7.438	3.962	4.020	4.908	1.349
MMOD	10^6PSI	2.472	9.927	6.113	6.042	7.180	1.290
PR	10^6PSI	-0.312	0.448	0.295	0.324	0.340	0.114
UCS-AVG	PSI	2794.531	12305.416	6899.843	6561.208	#N/A	1888.959
UMOD	10^6PSI	0.688	2.651	1.613	1.563	1.198	0.423

**Tabla 3. INTERVALO 7091 - 7125**

CURVE	UNITS	MIN	MAX	MEAN	MEDIAN	MODE	STD DEV.
CLDC	IN	232.232	314.537	251.586	246.660	240.593	16.737
DTC	US/F	66.924	95.955	78.804	79.660	#N/A	6.132
DTSX	US/F	120.854	191.658	162.979	169.392	174.213	19.727
DTSY	US/F	135.273	215.383	165.721	168.890	#N/A	20.697
EMOD	10^6PSI	2.639	5.600	3.581	3.304	2.989	0.772
KMOD	10^6PSI	2.439	9.333	4.311	3.686	2.950	1.654
MMOD	10^6PSI	4.091	11.274	6.111	5.637	#N/A	1.545
PR	10^6PSI	0.185	0.437	0.342	0.359	0.391	0.069
UCS-AVG	PSI	3886.949	14192.291	6536.475	6326.746	#N/A	2074.745
UMOD	10^6PSI	0.938	2.364	1.350	1.189	1.111	0.360

**Tabla 4. INTERVALO 7125 - 7205**

CURVE	UNITS	MIN	MAX	MEAN	MEDIAN	MODE	STD DEV.
CLDC	IN	228.923	277.241	237.442	235.280	235.280	6.784
DTC	US/F	41.782	83.126	67.782	72.241	76.685	10.506
DTSX	US/F	112.303	195.524	145.177	144.067	146.250	17.165
DTSY	US/F	112.426	218.807	151.195	147.990	#N/A	21.036
EMOD	10^6PSI	-22.791	6.364	3.865	4.270	4.352	2.718
KMOD	10^6PSI	-0.459	9.116	3.276	3.164	3.318	1.400
MMOD	10^6PSI	1.785	11.229	5.531	5.497	#N/A	1.396
PR	10^6PSI	-7.772	0.418	0.157	0.281	0.288	0.784
UCS-AVG	PSI	2464.734	14192.291	6506.966	6492.152	#N/A	1922.329
UMOD	10^6PSI	0.873	2.771	1.691	1.656	1.656	0.382

**Tabla 5. INTERVALO 7205 - 7335**

CURVE	UNITS	MIN	MAX	MEAN	MEDIAN	MODE	STD DEV.
CLDC	IN	225.981	309.699	242.432	240.389	225.982	12.042
DTC	US/F	55.594	116.118	79.926	77.449	62.928	13.462
DTSX	US/F	118.125	226.951	170.735	172.470	184.344	20.840
DTSY	US/F	96.515	229.532	167.504	165.978	#N/A	29.986
EMOD	10^6PSI	0.428	5.385	3.021	2.973	2.960	0.632
KMOD	10^6PSI	0.052	7.900	2.928	2.887	2.019	1.380
MMOD	10^6PSI	2.075	9.229	4.549	4.517	4.141	1.255
PR	10^6PSI	-0.881	0.451	0.271	0.310	0.354	0.169
UCS-AVG	PSI	1483.874	9585.988	4389.440	4329.376	#N/A	1323.278
UMOD	10^6PSI	0.639	2.400	1.216	1.153	0.905	0.317

**Tabla 6. INTERVALO 7335 - 7445**

CURVE	UNITS	MIN	MAX	MEAN	MEDIAN	MODE	STD DEV.
CLDC	IN	226.645	258.432	233.666	231.339	227.310	6.561
DTC	US/F	58.462	107.291	74.617	73.506	64.397	7.602
DTSX	US/F	108.125	190.395	150.505	153.125	153.125	19.011
DTSY	US/F	102.297	228.437	152.135	148.929	159.744	24.766
EMOD	10^6PSI	2.651	6.411	4.077	3.892	3.105	0.827
KMOD	10^6PSI	0.852	9.057	3.774	3.589	5.442	1.309
MMOD	10^6PSI	2.865	10.772	5.909	5.896	6.580	1.188
PR	10^6PSI	-0.238	0.432	0.293	0.313	0.375	0.099
UCS-AVG	PSI	2974.358	13095.574	6716.406	6566.659	#N/A	1809.326
UMOD	10^6PSI	0.963	2.983	1.601	1.491	1.143	0.425

**Tabla 7. INTERVALO 7445 - 7756**

CURVE	UNITS	MIN	MAX	MEAN	MEDIAN	MODE	STD DEV.
CLDC	IN	225.792	248.544	234.033	233.921	229.777	4.741
DTC	US/F	54.106	88.918	74.672	75.340	74.293	6.152
DTSX	US/F	103.125	222.945	149.766	149.227	137.500	18.627
DTSY	US/F	92.143	228.089	153.176	152.190	144.725	25.115
EMOD	10^6PSI	1.994	6.246	4.122	4.034	3.433	0.741
KMOD	10^6PSI	0.651	8.759	3.860	3.546	3.183	1.435
MMOD	10^6PSI	3.029	10.632	6.039	5.866	6.350	1.214
PR	10^6PSI	-0.419	0.438	0.288	0.308	0.338	0.119
UCS-AVG	PSI	2535.744	12545.010	6934.155	6762.260	#N/A	1660.628
UMOD	10^6PSI	0.694	3.356	1.634	1.569	1.405	0.432

**Tabla 8. INTERVALO 7756 - 7864**

CURVE	UNITS	MIN	MAX	MEAN	MEDIAN	MODE	STD DEV.
CLDC	IN	228.166	281.783	238.981	238.682	228.923	10.125
DTC	US/F	63.978	99.103	77.919	76.773	80.231	6.769
DTSX	US/F	105.704	174.590	148.351	150.040	140.625	15.977
DTSY	US/F	110.999	223.391	155.735	155.976	144.375	20.893
EMOD	10^6PSI	3.177	6.477	4.195	4.044	3.683	0.720
KMOD	10^6PSI	1.609	8.001	3.792	3.478	3.609	1.309
MMOD	10^6PSI	3.950	9.870	5.993	5.773	4.935	1.155
PR	10^6PSI	-0.071	0.421	0.290	0.301	0.289	0.094
UCS-AVG	PSI	3918.213	13217.958	6897.513	6535.692	#N/A	1722.624
UMOD	10^6PSI	1.156	3.016	1.651	1.558	1.578	0.403

**Tabla 9. INTERVALO 7864 - 8096**

CURVE	UNITS	MIN	MAX	MEAN	MEDIAN	MODE	STD DEV.
<b>CLDC</b>	IN	3.671	332.816	242.041	241.660	239.834	16.517
<b>DTC</b>	US/F	50.390	88.248	70.086	70.654	69.100	7.282
<b>DTSX</b>	US/F	103.846	207.396	140.973	139.731	136.875	16.757
<b>DTSY</b>	US/F	104.708	212.116	140.013	138.822	145.105	17.025
<b>EMOD</b>	10^6PSI	2.113	6.652	4.632	4.647	3.773	0.834
<b>KMOD</b>	10^6PSI	0.493	7.708	4.026	3.955	3.532	1.124
<b>MMOD</b>	10^6PSI	2.286	9.904	6.451	6.353	6.318	1.013
<b>PR</b>	10^6PSI	-0.214	0.427	0.288	0.307	0.305	0.086
<b>UCS-AVG</b>	PSI	0.000	14822.015	6957.782	7271.911	0.000	2930.785
<b>UMOD</b>	10^6PSI	0.810	3.249	1.819	1.784	1.397	0.416

## 8.2 OBSERVACIONES DE LAS ESTADÍSTICAS DE ONDA

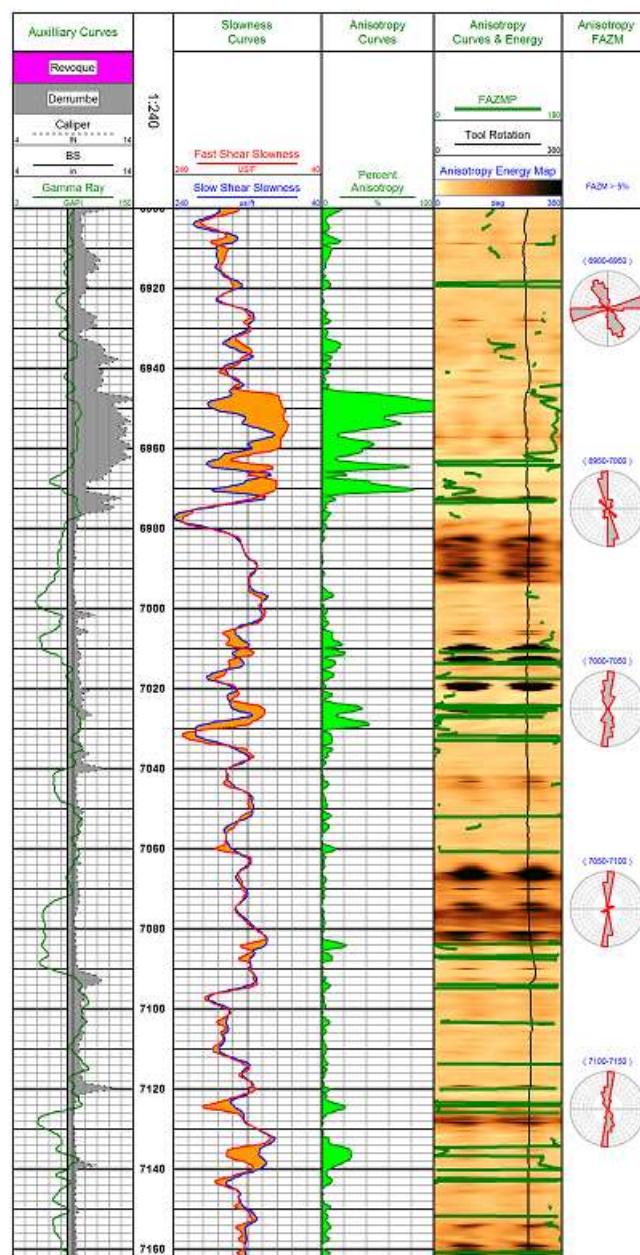
De las tablas mostradas anteriormente podemos extraer las siguientes observaciones:

- La onda compresional responde al grado de consolidación de la roca donde la onda poseerá mayor velocidad de tránsito (menor lentitud) en las formaciones más consolidadas. Los valores promedio de Lentitud Compresional (DTC) se encuentran en el intervalo de <67 us/ft – 80 us/ft> observándose los mayores valores entre las profundidades de 6900-6976 ft correspondiente a zona de arcillas.
- La diferencia entre los valores de Lentitud de Corte X e Y (DTX, DTY) para los distintos intervalos oscila de 0 a 20 us/ft siendo la mayor diferencia en el intervalo de 6900 ft – 6973 ft. La diferencia entre ambas ondas de corte responde al grado de anisotropía de la formación, a mayor diferencia mayor es la anisotropía presente. Los menores grado de anisotropía (diferencia X-Y cercana a 0 us/ft) se encuentra en los intervalos 7864'-8096'.

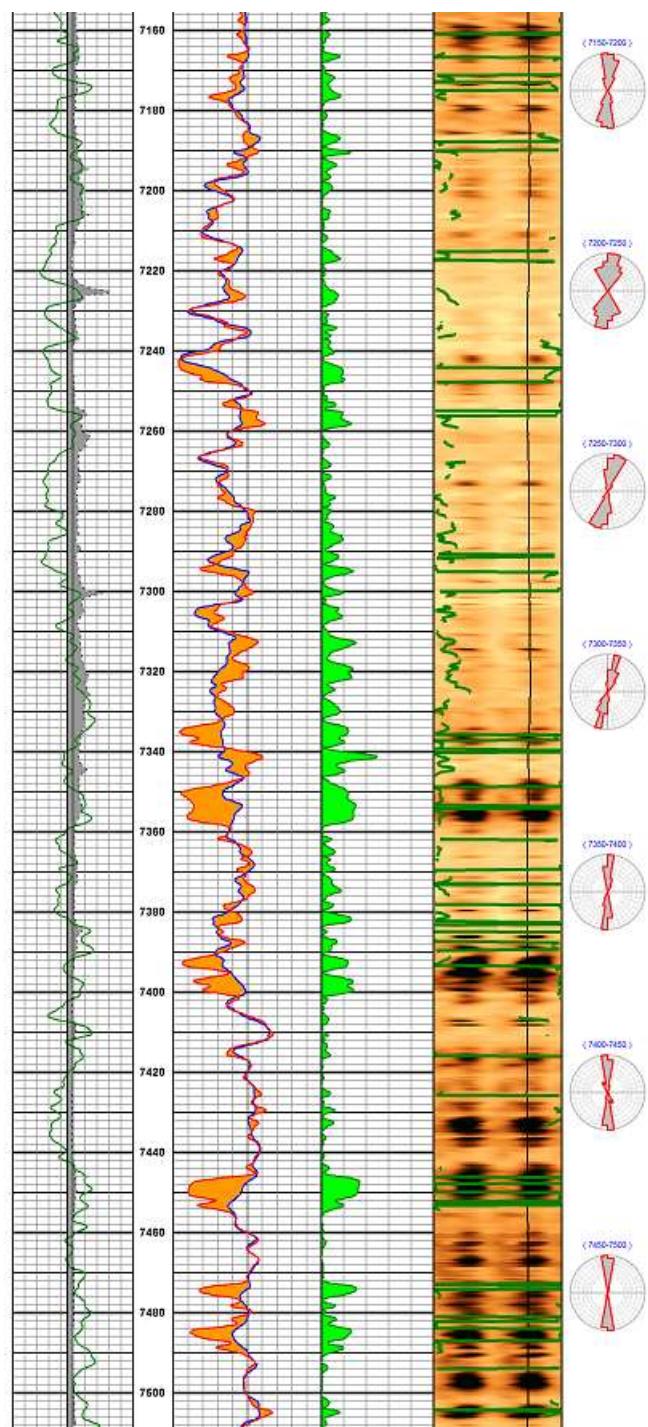
- El módulo de Young relaciona la deformación con el esfuerzo en una dirección y es una medida de la rigidez de un material. Las rocas más rígidas poseen valores más altos de Módulo de Young y son más fáciles de fracturar que las rocas con valores más bajos de Módulo de Young.
- La Relación de Poisson, que es la relación entre la deformación transversal y la deformación axial, se relaciona con el esfuerzo de cierre. Las rocas con valores más altos de esta relación son más difíciles de fracturar y mantener abiertas que aquellas que exhiben valores más bajos.
- Para llevar a cabo trabajos de Fracturamiento Hidráulico se debe apuntar a intervalos que tengan valores más altos de Módulo de Young y valores más bajos de la Relación de Poisson. No obstante, cuando existe anisotropía elástica los valores mecánicos no son necesariamente válidos.
- Respecto a lo citado anteriormente, la zona de 7864' – 8096' presenta el mayor Módulo de Young promedio ( $4.632 \times 10^6$ ) así como la menor Relación de Poisson en el intervalo 7125 ft – 7205 ft (0.157) respecto a otras zonas.
- El Módulo Bulk de Compresibilidad es la relación entre el esfuerzo normal promedio, la deformación volumétrica y el grado en que un material puede tolerar la carga de compresión isotrópica antes de la falla de roca. Los valores de Bulk se incrementan desde el fondo al tope de los intervalos evaluados.
- La curva de UCS, definida como la curva de Esfuerzo de Compresión Uniaxial mide la competencia de la roca como su capacidad a soportar una carga que pueda provocarle rotura, siendo más competente a valores más altos. En los intervalos analizados, la curva de UCS presenta su mayor valor en el intervalo 7864'-8096'.

### 8.3 ANISOTROPIA

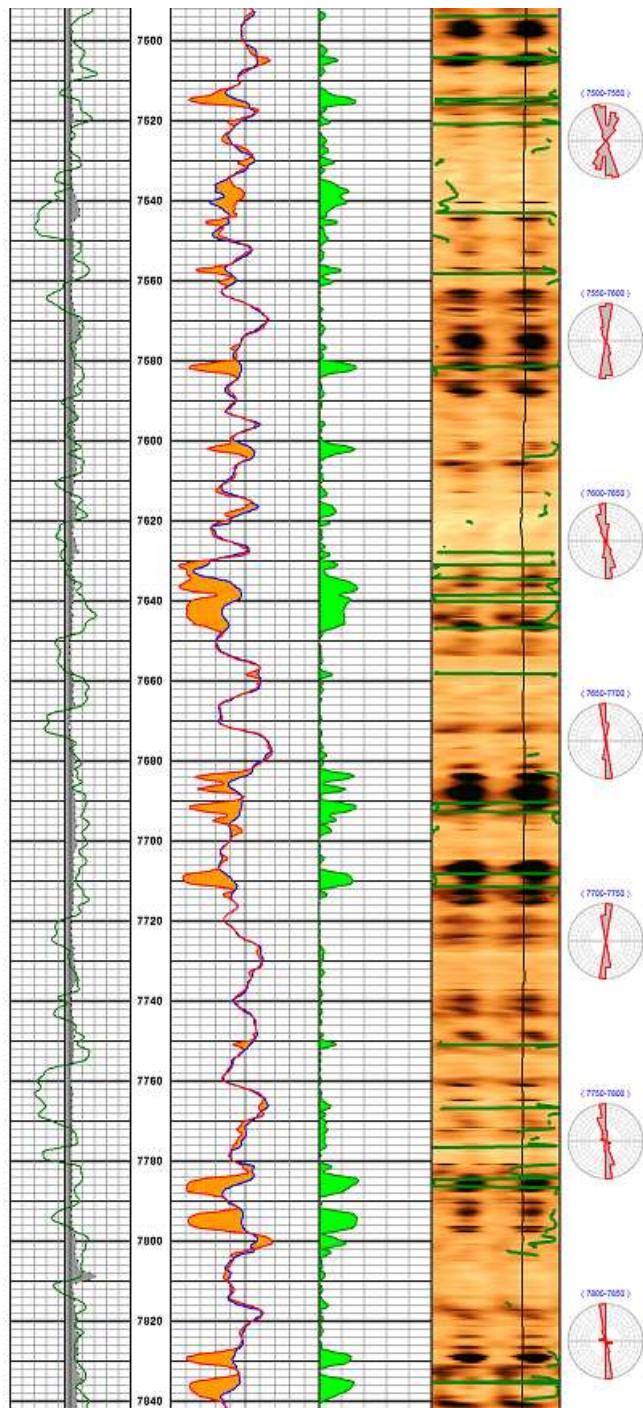
Del análisis de anisotropía se determinó que existe una dirección preferencial de la onda rápida en direcciones distintas por zonas, principalmente NNE-SSO y NNO-SSE (ver registro y/o imagen) por lo que se infiere que las mejores propiedades de roca están alineadas en esta dirección.



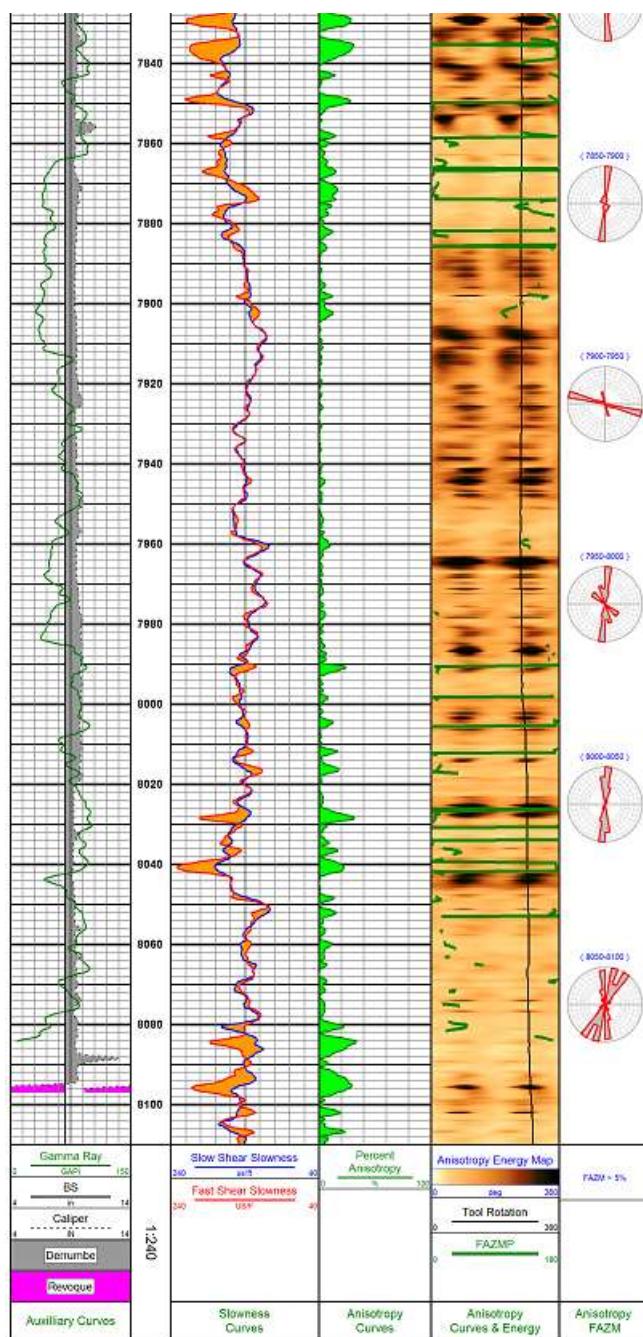
**Figura 20. CXD LO6-34D Depth 6900' – 7160'.** La anisotropía se denota en color verde y resulta de la diferencia de la onda de corte veloz con la onda de corte lenta.



**Figura 21. CXD LO6-34D Depth 7160' – 7500'.** La anisotropía de la Electrosecuencia 5 se debe a que las ondas veloces se alinean paralelo al rumbo de las fracturas SSW-NNE.



**Figura 22. CXD LO6-34D Depth 7500' – 7840'.** Las anisotropías discretas debidas a la onda veloz se marcan en negro en el registro a la derecha y son producto del fracturamiento.



**Figura 23. CXD LO6-34D Depth 7840' – 8100'. Intervalo poco fracturado y por tanto muestra poco grado de anisotropía.**

## ADENDUM AL REPORTE ANÁLISIS GEOLÓGICO DEL POZO LO6-34D, FASE 8.5"

### EL VALOR AGREGADO DE LOS REGISTROS DE IMÁGENES CMI Y DEL SONIC CROSS DIPOLE

Los registros especiales CMI y Sonic Cross Dipole aportan mediciones e información precisa cuya utilidad se observa en todas las fases del pozo, la completación, el fracturamiento y en la perforación de futuros pozos.

#### 1. EN LA COMPLETACIÓN DE POZO.

En el presente Adendum se ha integrado la información del Mud log y de esta manera, el análisis utilizando los registros eléctricos adquiere un nivel de mayor alcance que calibra los registros y permite un uso más robusto de éstos para trabajos de completación.

Los mejores intervalos para ser abiertos a producción son:

- **7175'-7320'.** Este intervalo tiene siete cuerpos de arenisca con fluorescencia 5-40%, intercalados con capas de lutita. Los cuerpos de arenisca son de resistividad 15-40 Ohm-m y corresponden a depósitos sub-aqueos de flujo de detritos y derrumbes dispuestos en ciclos de engrosamiento de espesor de estratos hacia arriba (Electrosecuencia 5). En el Dipmeter se observa la coincidencia de mayor densidad de fracturas con el estrato grueso al tope de cada ciclo.

La dirección de buzamiento de las fracturas conductivas y las fracturas parcialmente conductivas han sido determinado de las imágenes CMI hacia el WNW. Por otro lado, en un medio anisotrópico como es el caso del presente pozo, las ondas de corte del Sonic Cross Dipole se separan en dos ondas polarizadas perpendicularmente entre sí (la onda rápida y onda lenta). La componente de onda de corte rápida está orientada en la dirección del esfuerzo máximo horizontal que es provocada por las fracturas. El perfil de anisotropía en base al tiempo está dividida en

porcentajes cuya diferencia abarca valores de 0-20% (Figura 21). Seguidamente los gráficos rose diagram están indicando la orientación de la anisotropía causada por las fracturas y confirma el rumbo de éstas, SSW-NNE.

- **7864'-7910'**. Es un cuerpo de arenisca de 5-20% de fluorescencia y resistividad de 18-30 Ohm-m. Es el tope de la Electrosecuencia 1, Unidad I. La única fractura conductiva observada buza hacia el NW. La anisotropía varía 0-10% y su rumbo es N-S.
- **7975'-7985'**. Es un cuerpo de arenisca de 0-20% de fluorescencia y resistividad máxima de 38 Ohm-m. Pertece también a la Electrosecuencia 1, Unidad I. La única fractura parcialmente conductiva buza hacia el W. El valor de la anisotropía es muy baja y su rumbo es N-S que corresponde con el rumbo de la fractura.

## 2. EN LA ESTIMULACIÓN POR FRACTURAMIENTO.

Por otro lado, el registro Sonic Cross Dipole ha sido utilizado con éxito para caracterizar las propiedades mecánicas de la formación Mogollón porque da como resultado las curvas de las ondas de compresión, de corte y Stoneley. En el campo Lobitos, los trabajos de fracturamiento utilizan arena como agente de sostén y contribuyen al incremento de la producción. Luego, para un mejor modelo de diseño de estimulación por fracturación se requiere como datos de entrada en el simulador, los valores precisos de las propiedades mecánicas de la roca como son la Relación de Poisson ( $\nu$ ) y el Módulo de Elasticidad de Young ( $E$ ). Estas constantes elásticas son derivadas de las mediciones continuas de las velocidades de las ondas elásticas compresional y de corte del registro Sonic Cross Dipole.

### 3. EN EL DISEÑO DE LA PERFORACIÓN DE POZOS

En los registros de imágenes CMI se identifican los breakout que son aberturas debido al peso de la columna de lodo durante la perforación. La dirección del breakout va a indicar la dirección del esfuerzo mínimo horizontal en el campo de esfuerzos en el pozo. Se ha comprobado la persistencia del breakout, el azimut varía desde 240° a 210° en el intervalo 6908' a 7490', para volver más abajo a 240°, en la profundidad 7946'. Esta dirección de azimut del esfuerzo mínimo horizontal sirve para garantizar la perforación de un pozo horizontal en esta dirección SW, dentro de la arenisca de interés, sin provocar colapso o fracturación durante la perforación.

El análisis del tren de ondas del Sonic Cross Dipole da un conocimiento de la competencia de la roca a atravesar y esta información optimiza en la selección del tipo de la broca a las profundidades determinadas.