

POZOS HORIZONTALES EN
RESERVORIOS NO CONVENCIONALES
Geología de Operaciones

Ing. Geólogo Orestes Orrego Albañil

Enero 2020



Society of Petroleum Engineers
Lima Section

AGENDA

- Reservoirios No Convencionales – Definición
- Historia y Producción - Objetivos
- Planificación, Perforación y Completación de un Pozo en Reservoirio No convencional
- Modelo y Control geológico de pozo: Personal de Geología y de Perforación
- Geonavegación y Transmisión en Tiempo Real - Decisiones
- Ejemplo de un Pozo Horizontal en Reservoirios No Convencionales (Geonavegación)
- Dos ejemplos de Campos en Reservoirios No Convencionales – Estados Unidos
- Conclusiones



Reservorios No Convencionales -Definición



Society of Petroleum Engineers
Lima Section

Reservorios No Convencionales - Definición

- Reservorios No Convencionales son rocas con baja permeabilidad y porosidad que contienen hidrocarburos pero que son difíciles de producir con métodos convencionales.
- Los Reservorios No Convencionales generalmente ocurren en rocas apretadas con poca porosidad (areniscas apretadas fracturadas o fracturables, carbonatos, lutitas, carbón).
- Los proyectos de Reservorios No Convencionales son de gran extensión regional y ocurren en la ruta de migración adyacente o dentro de la roca madre de un sistema petrolero.
- Se requiere de técnicas especiales para ponerlos en producción tales como fracturamiento o inyección de vapor de agua que hace el proceso más complicado que un reservorio convencional.
- Las lutitas que pueden producir petróleo o gas son orgánicamente ricas, de rocas sedimentarias de grano muy fino capaces de producir cantidades comerciales con fracturamiento artificial.



Tipos de Reservorios No Convencionales

- Petróleo
 - Petróleo pesado (Heavy Oil)
 - Arenas Bituminosas (Tar Sands)**
 - Lutitas (Roca Madre)**
 - Sistemas de Cuencas Centrales (Continuidad)
- Gas
 - Gas Apretado & Gas Biogénico (Tight Gas & Biogenic Gas)
 - Areniscas
 - Carbonatos
 - Lutitas (Roca Madre)**
 - Sistemas de Cuencas Centrales (Continuidad)
- **Metano en Capas de Carbón (Coal Bed Methane)**
- Hidratos de Gas (Gas Hydrates)
- Reservorios Convencionales No Económicos (Uneconomic Conventional Reservoirs)

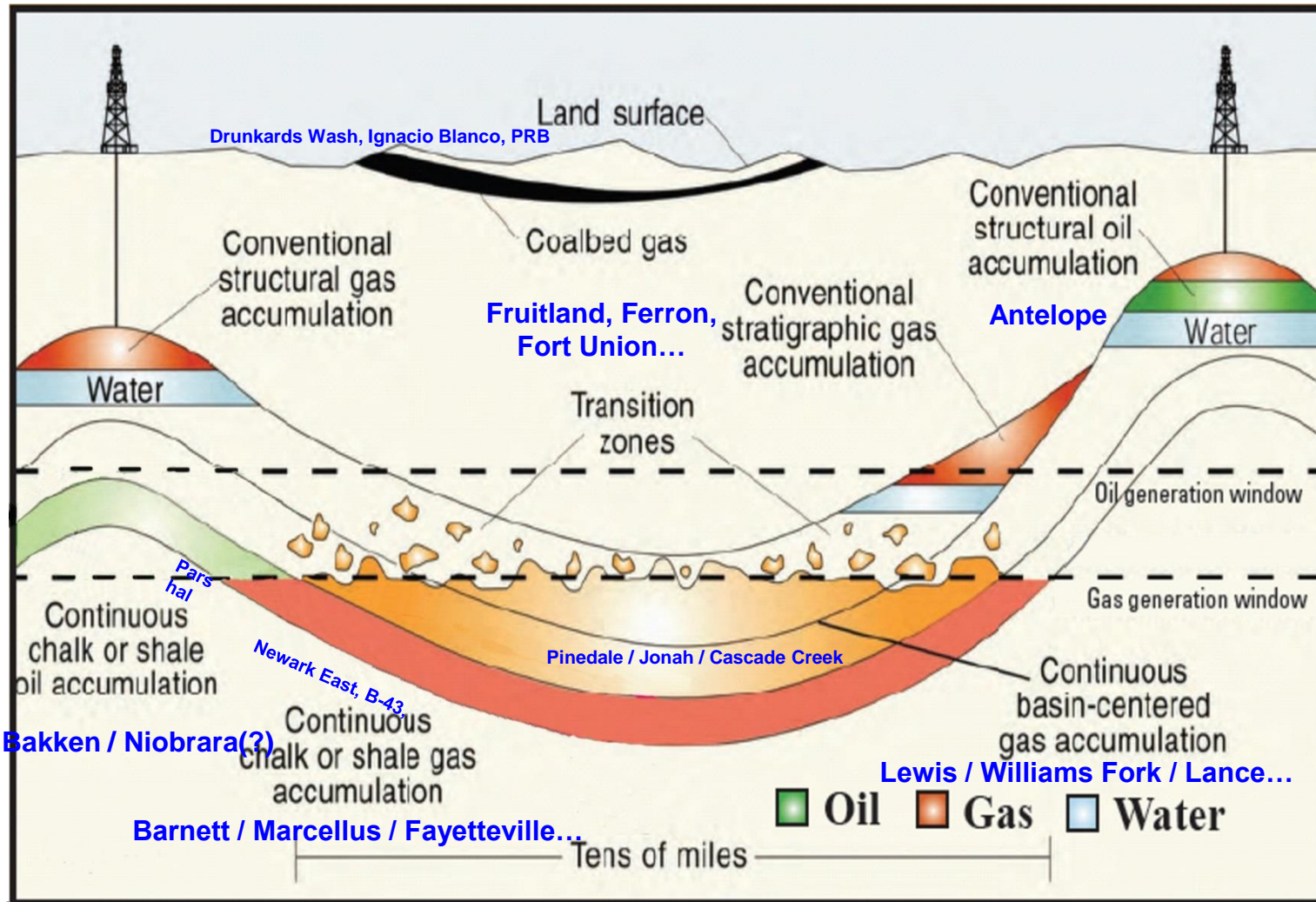


Tipos de Reservorios No Convencionales y Fracking

- **Shale oil** se refiere a hidrocarburos atrapados en formaciones de rocas lutáceas.
- **Tight Gas** es el gas existente en areniscas de baja permeabilidad (< 0.1 mD)
- **Coal Bed Methane** es gas metano adsorbido sobre carbon (7% del gas americano actual).
- **Gas Hydrates** es gas metano de los fondos marinos.
- **Tar Sands** se refiere a bitumen presents en areniscas y que por su alta viscosidad y densidad no fluyen a temperature ambiente.
- **“Fracking”** es la palabra coloquial para [hydraulic fracturing](#) (fracturamiento hidráulico). Es el proceso de crear fracturas en las rocas para inyectar fluidos especiales dentro de ellas para forzarlas a abrirse más.



Reservorios No Convencionales – Cuenca esquemática



Factores importantes para definir un Reservorio No Convencional

- **Madurez Térmica:** Que la roca esté en la Fase de Generación de petróleo in situ.
- **Espesor del Reservorio:** Es un parámetro importante para “aterrizar y geonavegar” en la Roca Madre con Buena Saturación de Petróleo. Hay reservorios que varían mucho lateralmente y se puede salir del Pay.
- **TOC (Carbono Orgánico Total):** Es un factor universal de Buena Roca Madre. TOC es una medida cuantitativa pero no da un estimado cualitativo de roca generadora. Cambios verticales y horizontales, así como el tipo de Kerógeno son difíciles de mapear para crear un buen modelo geológico.
- **Arcilla:** su distribución en el reservorio puede impactar en la efectividad de fracturamiento hidráulico juntamente con la saturación general de la roca.
- **Otros factores:** Problemas de perforación y completación, costo del pozo, dificultades de acceso, áreas remotas, dificultades de producción, precio del crudo, etc



Porqué perforar pozos horizontales en Reservorios No Convencionales?

- Incrementar el contacto del pozo con la zona más productiva
- Optimizar el rate de producción
- Mitigar los riesgos operativos y geológicos
- Reducir los Tiempos No Productivos (NPT)
- Incrementar el conocimiento de la Geología del Reservorio
- Reducir los Costos de Desarrollo del Proyecto



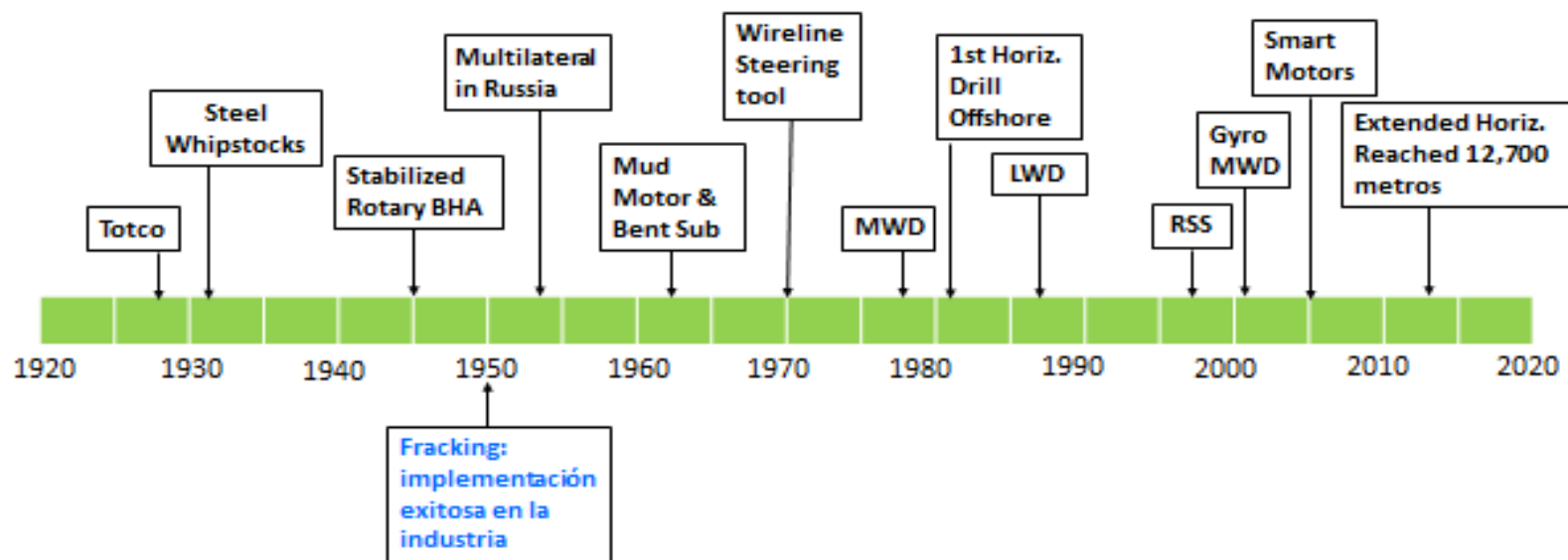
Historia y Producción

-Objetivos-

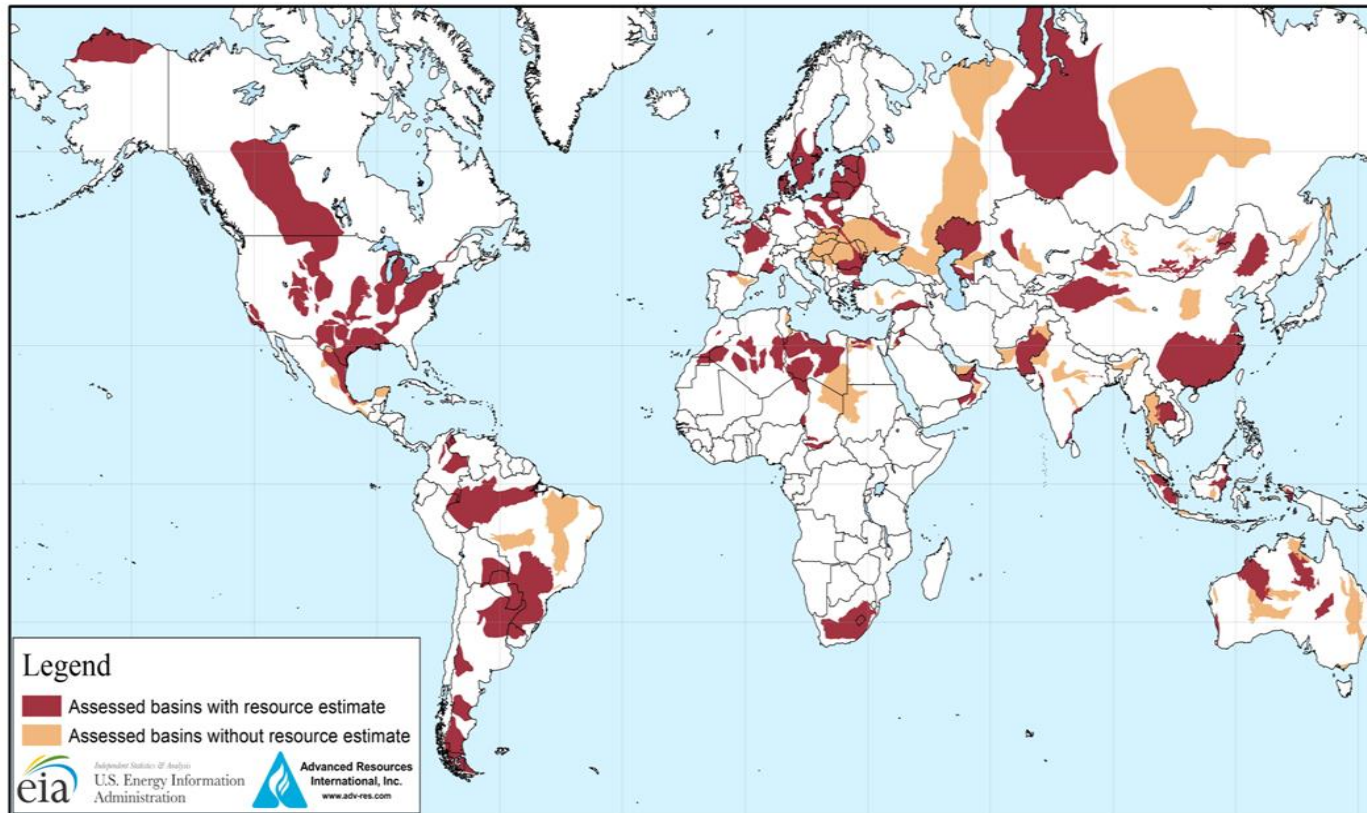


Society of Petroleum Engineers
Lima Section

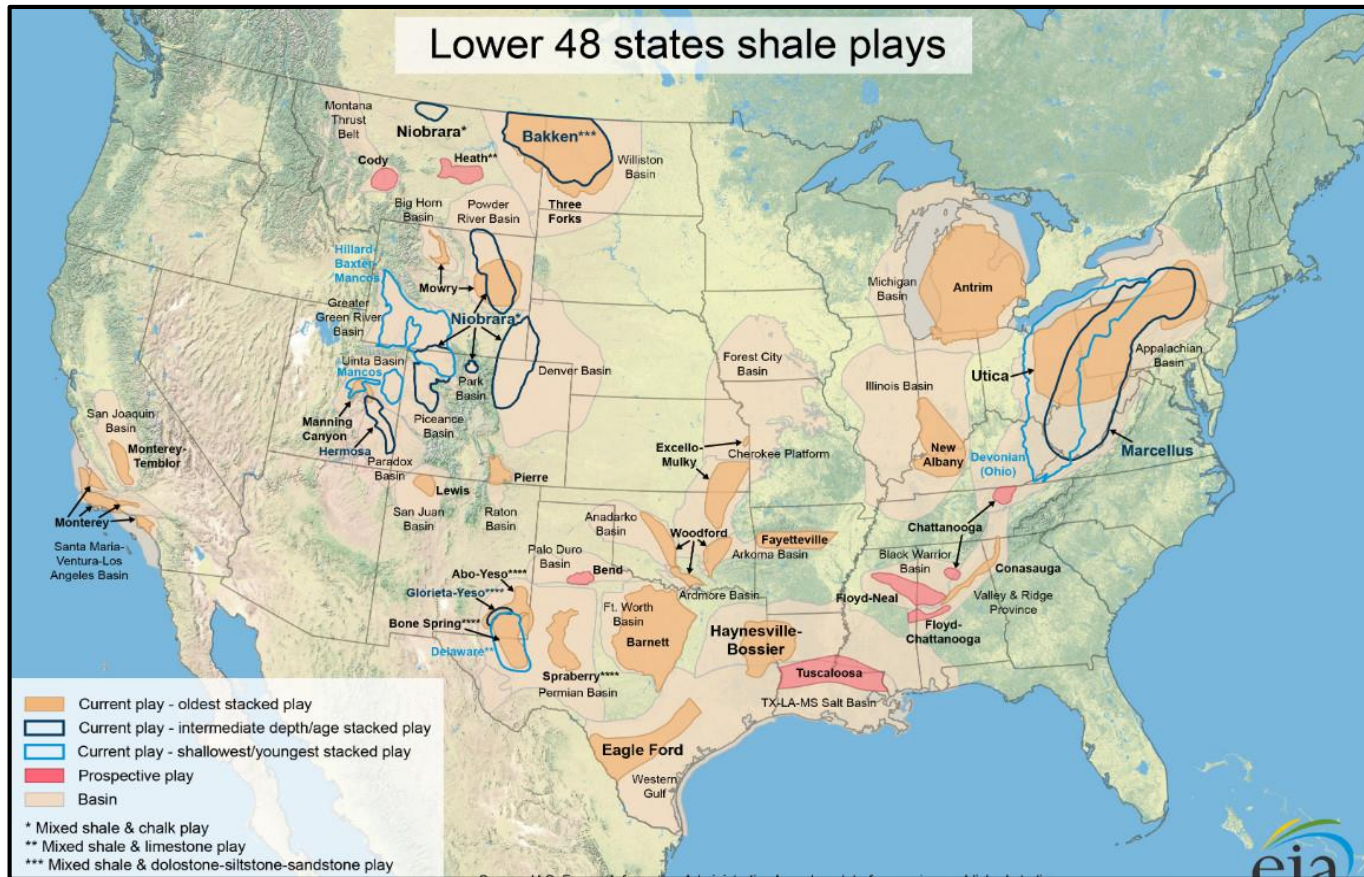
Historia de la Perforación Direccional y Horizontal



Cuencas en el Mundo con Reservorios No Convencionales - Shale Oil (EIA)



Campos de Reservorios No Convencionales en USA (EIA)



Oil in Place en Reservorios No Convencionales en el Mundo

Primeros 10 campos productores en el Mundo

| | Depósito | País | Edad | Oil in Place (millones barriles) |
|----|------------------|------------------------|-------------|----------------------------------|
| 1 | Fm. Green River | USA | Paleoceno | 1`466,000 |
| 2 | Fm. Phosphoria | USA | Permian | 250,000 |
| 3 | Eastern Devonian | USA | Devónico | 189,000 |
| 4 | Fm. Heath | USA | Carbonífero | 180,000 |
| 5 | Cuenca Olenyok | Rusia | Cámbrico | 167,715 |
| 6 | Congo | Rep. Dem. Congo | ? | 100,000 |
| 7 | Fm. Irati | Brasil | Pérmico | 80,000 |
| 8 | Sicily | Italia | ? | 63,000 |
| 9 | Tarfaya | Marruecos | Cretácico | 42,145 |
| 10 | Cuenca Volga | Rusia | ? | 31,500 |

Oil in Place por Continente o Región

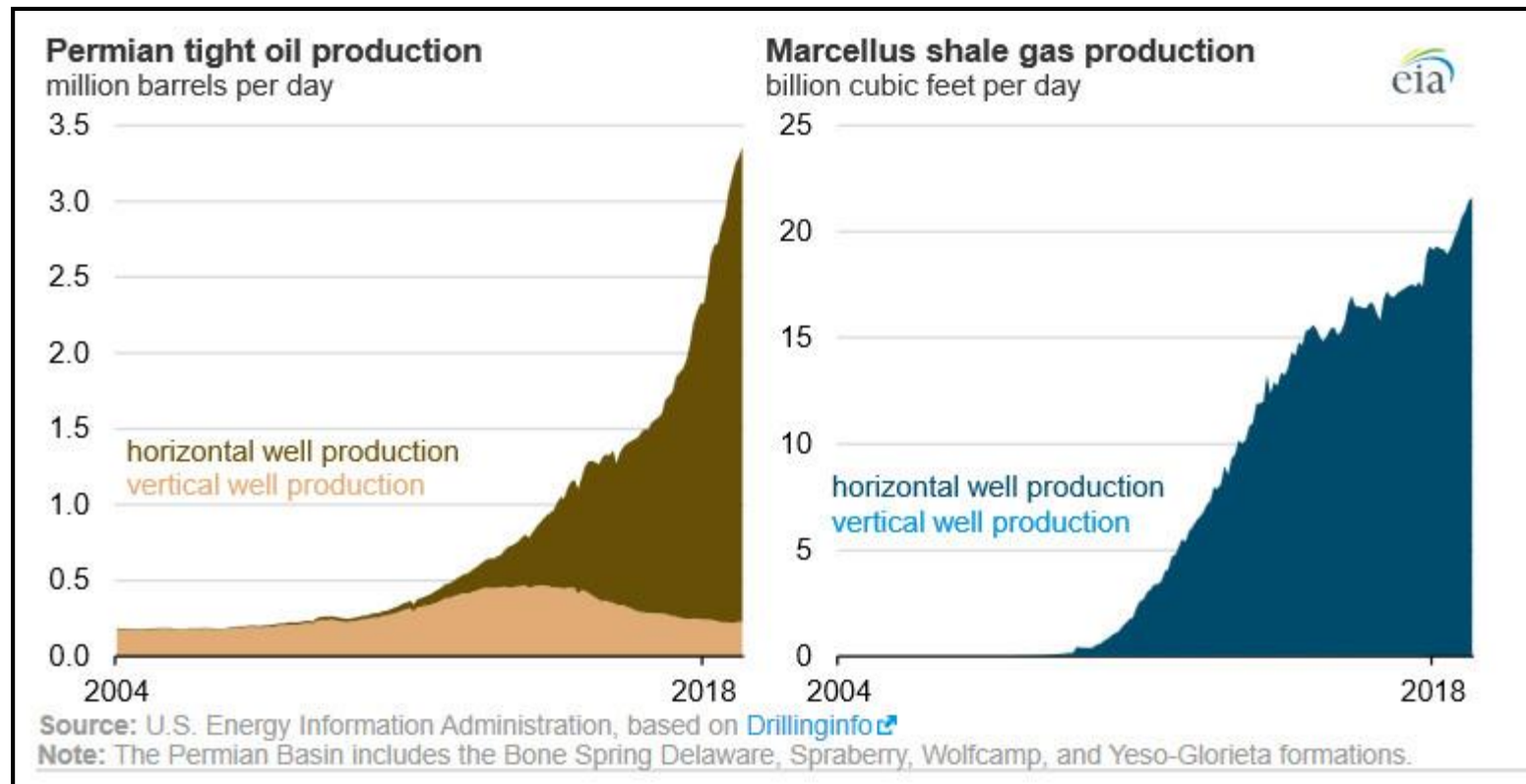
| | Continente o Región | Oil in Place (millones barriles) |
|---|---------------------|----------------------------------|
| 1 | América del Norte | 3`722,066 |
| 2 | Asia | 613,145 |
| 3 | Europa | 368,156 |
| 4 | Africa | 159.243 |
| 5 | América del Sur | 82,421 |
| 6 | Medio Oriente | 38,172 |
| 7 | Oceanía | 31,748 |



Petróleo y Gas No Convencional en el Mundo



Producción con Pozos Horizontales en la Cuenca Pérmica y Marcellus

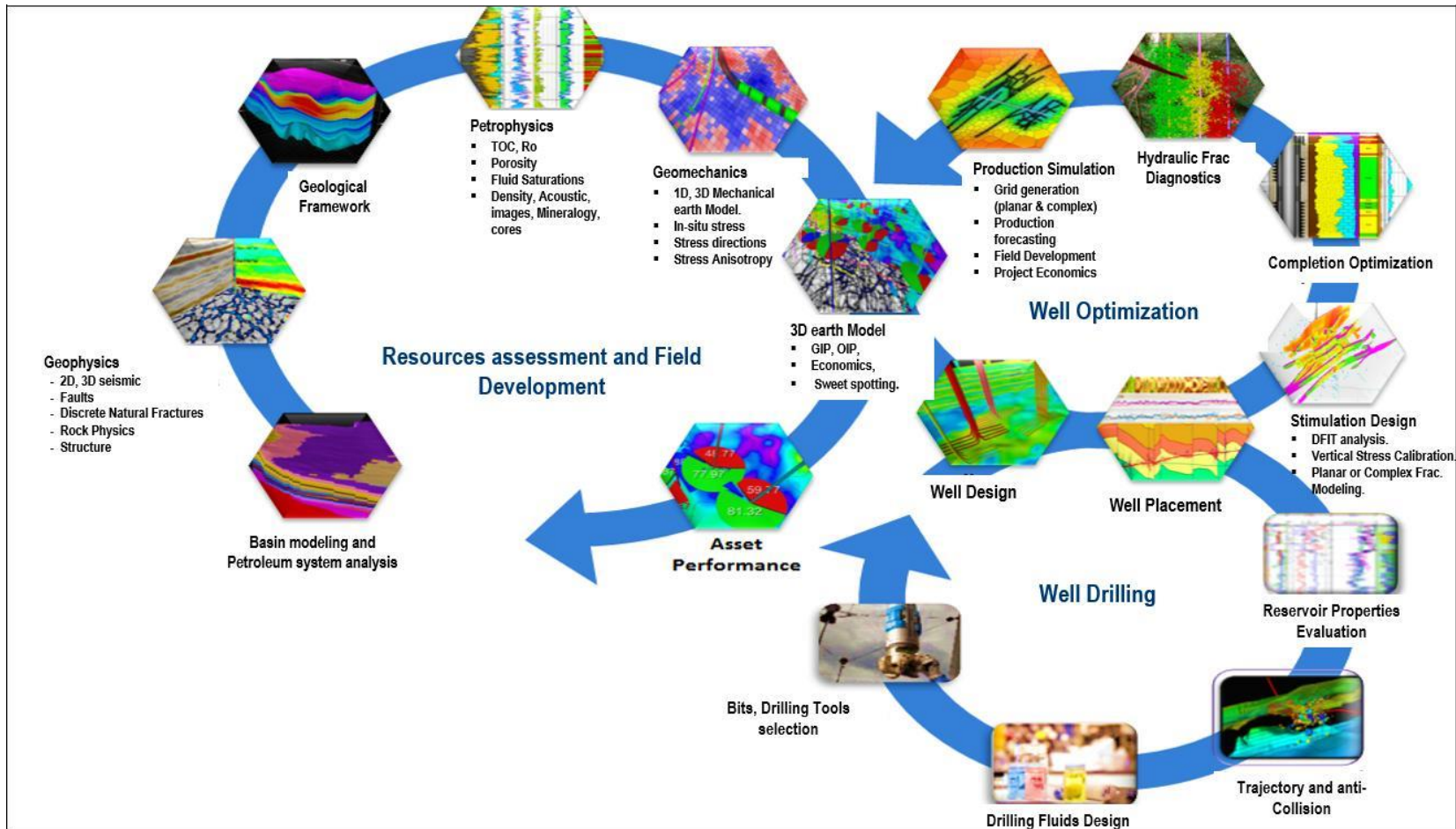


Planificación, Perforación y Completación de un Pozo Horizontal en Reservorios No Convencionales

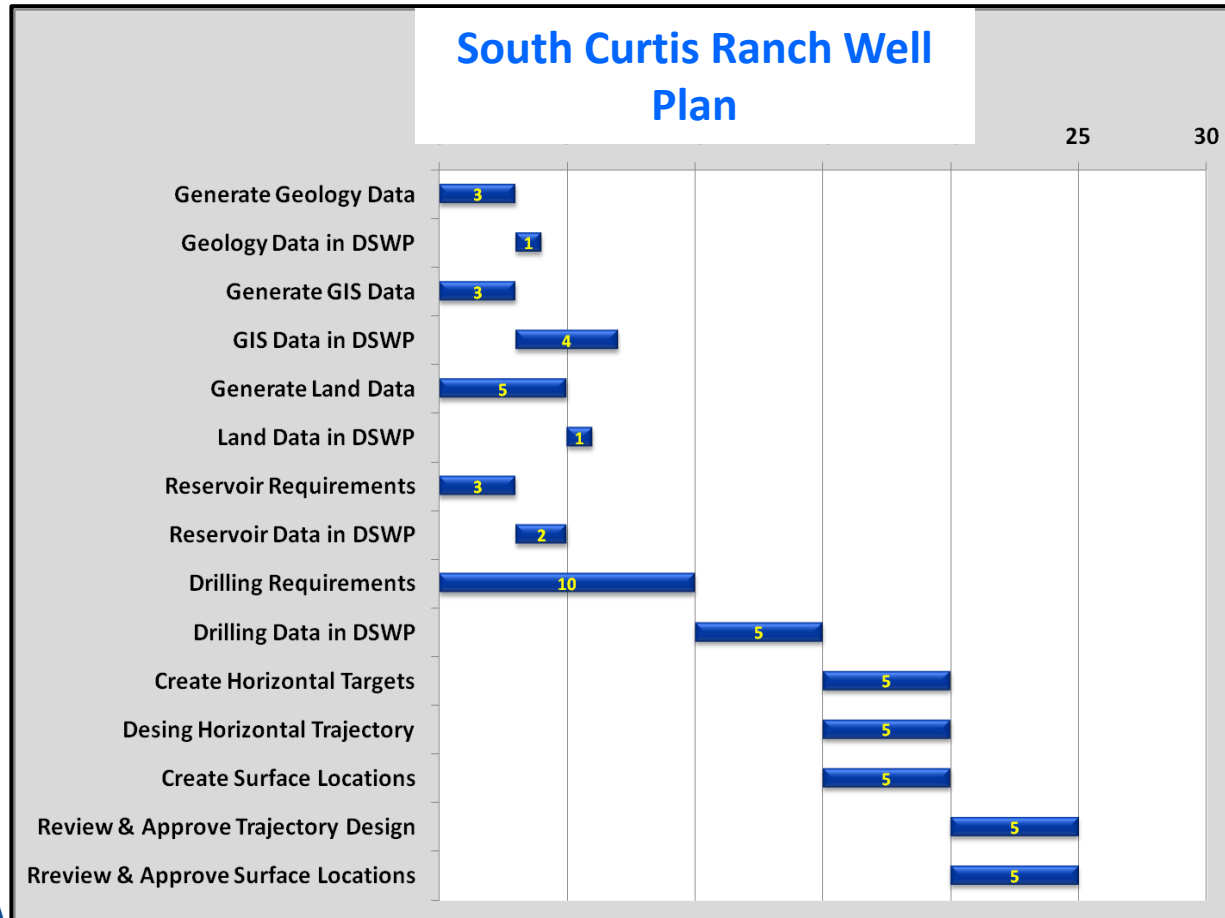


Society of Petroleum Engineers
Lima Section

Diagrama de flujo Integrado de Ingenieria y Desarrollo de un Reservorio No Convencional



Preparación de Información para perforar un Pozo No Convencional en la Cuenca Pérmica - Texas



Plan y Perforación del Pozo – Estructura de Datos: Los cuatro Componentes “Claves”

Diseño del Pozo

- Diámetros, Puntos de casing, Factor de Fricción, Geomecánica

Tubería de Perforación

- Longitud, Diámetros Externo e Interno, Peso, Grado, Límites de rendimiento

Survey (Gyros)

- MD/INC/Azi - ‘la trayectoria’
- Doglegs estimados
- Usados para cálculo del TVD cuando sea necesario

Fluidos

- Tipo de lodo
- Densidad del lodo
- Modelo Reológico y parámetros

Datos Adicionales: Presión de Poro, Gradientes de Fractura, Sistema de Circulación, Cargas Reales



Perforación del Pozo – Consideraciones importantes

Datos de Superficie

Planeamiento de la Trayectoria: Radio corto, intermedio o largo

MWD/LWD : Interferencia magnética, Gyroscope

Incertidumbre del Survey, Anticolisión

Métodos Direccionales, Herramientas

Diseño de la Tubería de perforación, Torque y Drag

Diseño del BHA

Hidraulica y Limpieza del pozo

Sistemas de Rotación Navegable (RSS)

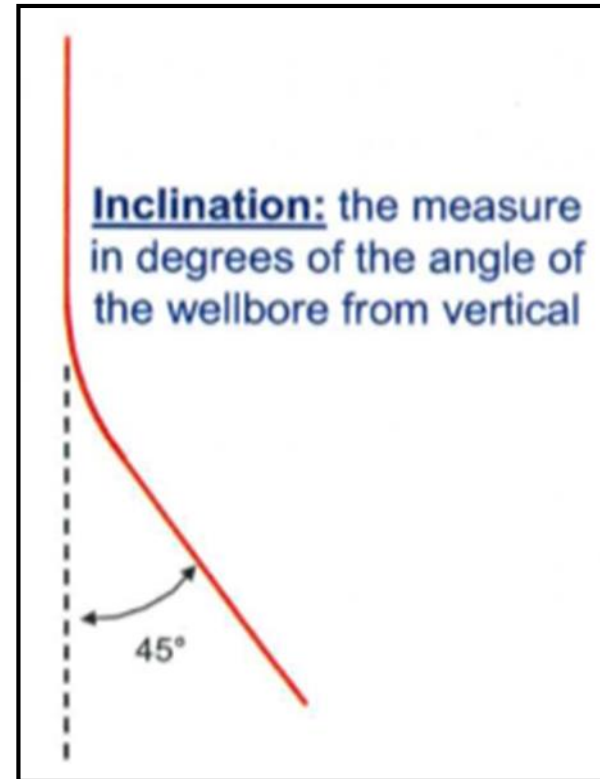
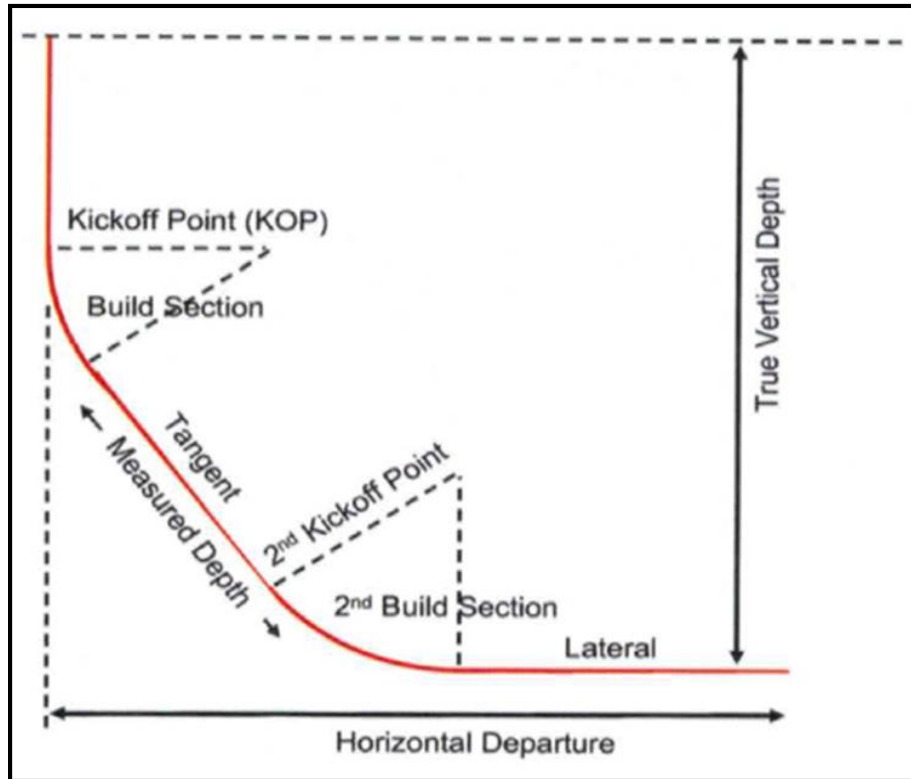
Eficiencia de Perforación

Costos

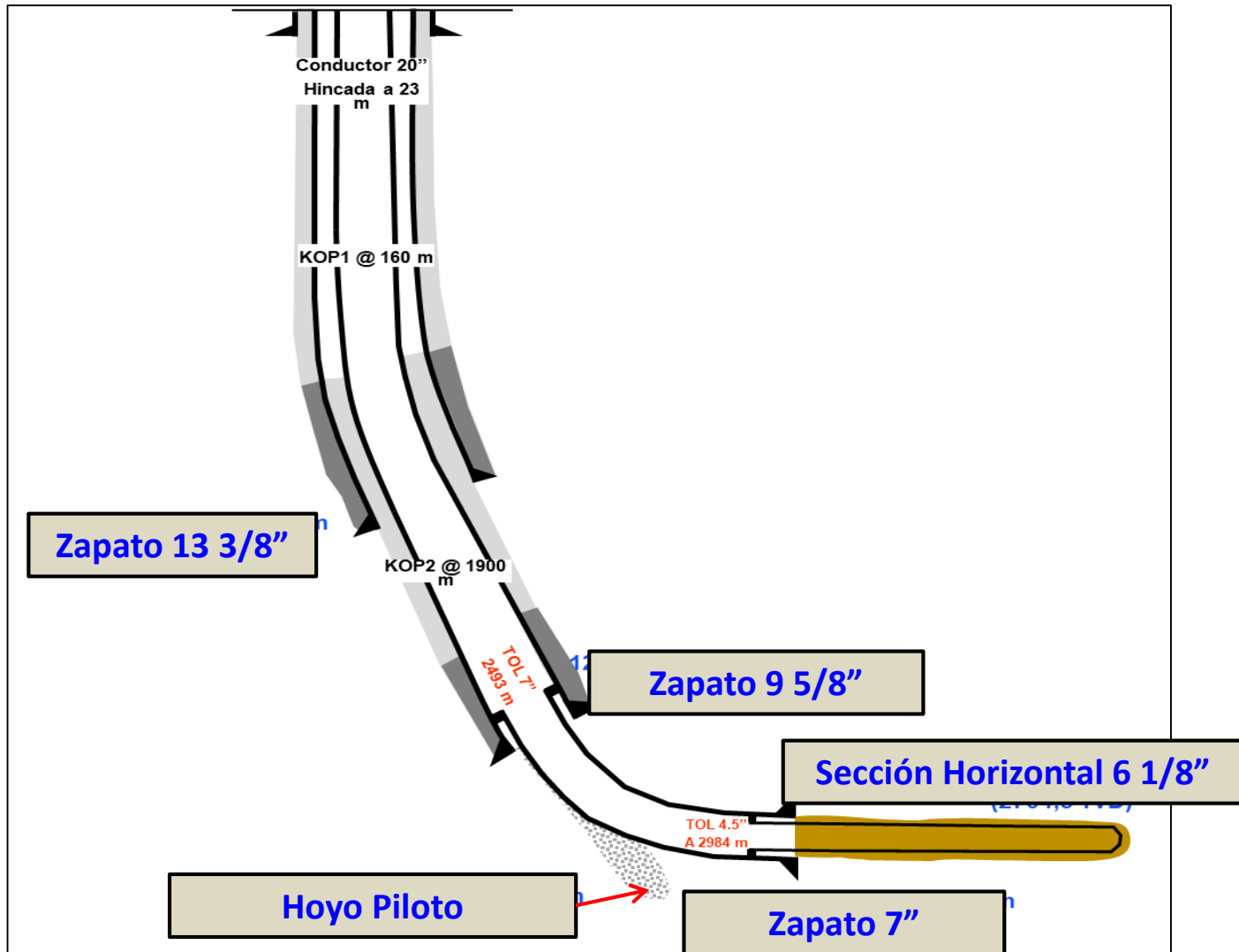


Terminología Útil en Pozos Horizontales

Componentes de la trayectoria



Perforación – Diseño Típico de Casing

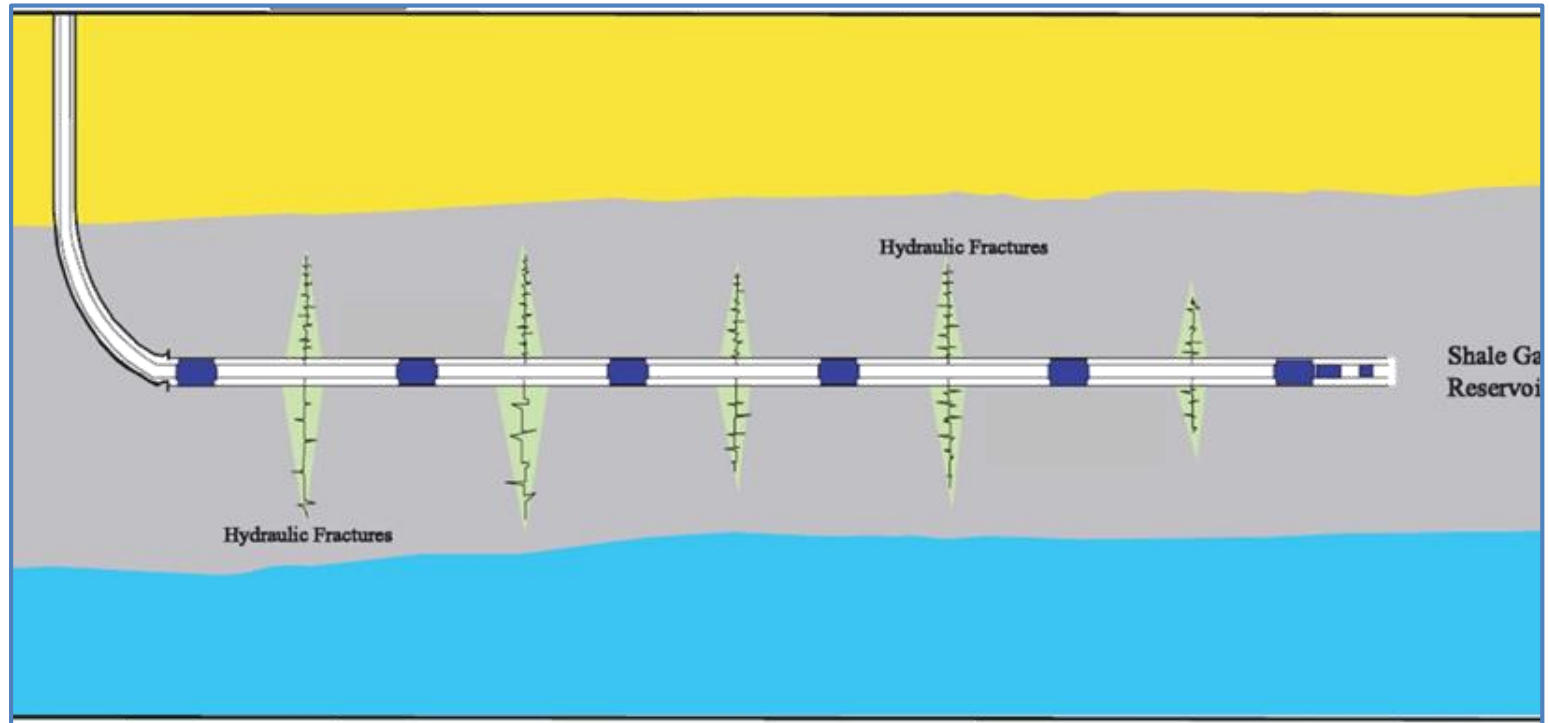


Completación - Fracturamiento Hidráulico (Fracking)

- El casing de producción se perfora en etapas a lo largo de la sección horizontal.
- Se bombea una mezcla de agua, arena y aditivos a alta presión para crear fracturas en el reservorio.
- Se efectúa en etapas de 50m hasta 200m.
- Cada etapa se aísla con un tapón.
- Se puede modificar la distancia entre las perforaciones, la cantidad de agua y el tipo de arena para optimizar la producción



Fracturamiento Hidráulico – Tapones y Perforaciones



Modelo y Control Geológico del Pozo

-Personal, Herramientas, Softwares



Society of Petroleum Engineers
Lima Section

Equipo de Trabajo Geológico - Personal

Oficina

- Geólogo del Proyecto
- Geólogo de Operaciones
- Geólogo o Ingeniero de Geonavegación
- Geofísico
- Petrofísico

Campo

- Geólogo de Pozo
- Ingeniero Direccional
- Ingeniero de LWD
- Mud loggers



Equipo de Trabajo Geológico - Herramientas y Softwares

Oficina

- Computadora con el Modelo Geológico
- Computadora con el software de Geonavegación

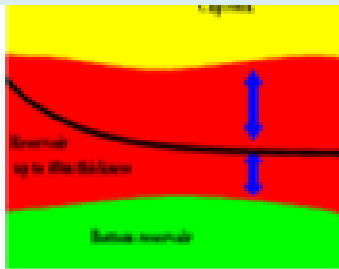
Campo

- Herramientas Direccionales
- Herramientas de Perfilaje Continuo durante la Perforación (LWD)
- Unidad de Mud Logging



Sección Horizontal (Retos de la Geonavegación)

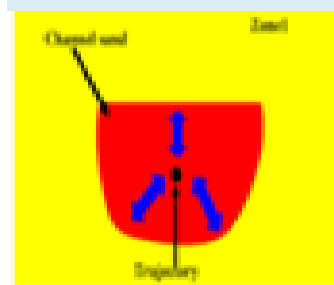
Mapeo de los límites del reservorio



Permanecer en una capa



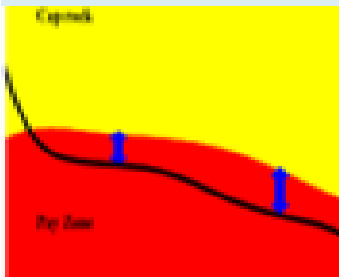
Permanecer en un canal arenoso



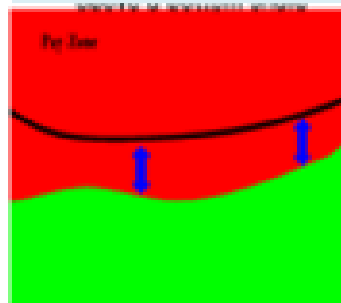
Aterrizar con alto ángulo



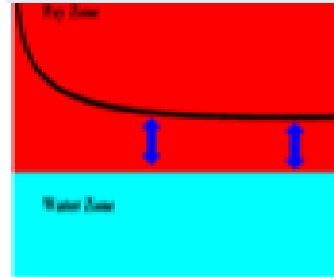
Permanecer a una distancia debajo de la capa sello



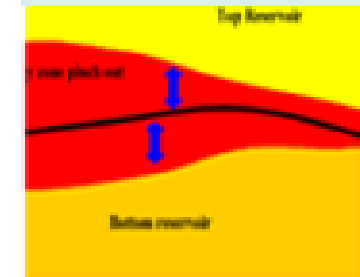
Permanecer a una distancia por encima de la lutita de fondo



Permanecer a una distancia por encima del OWC



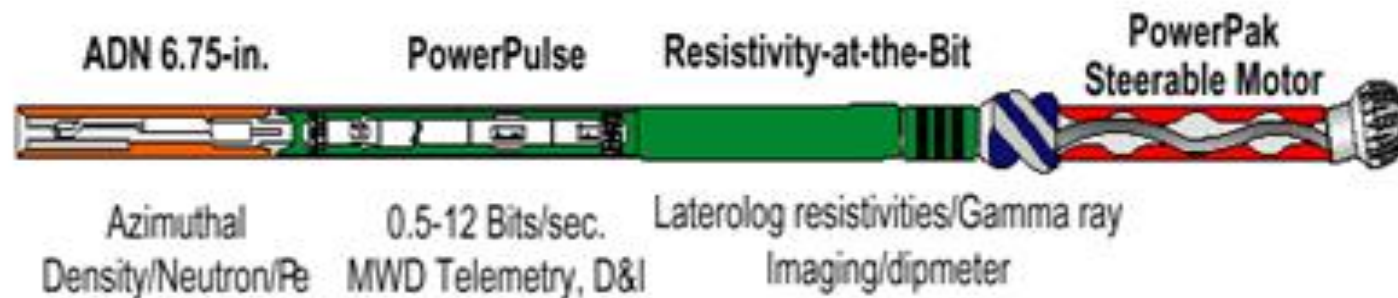
Permanecer en el reservorio que se pincha



Sección Horizontal (Geonavegación)

Típica Configuración de MWD/LWD

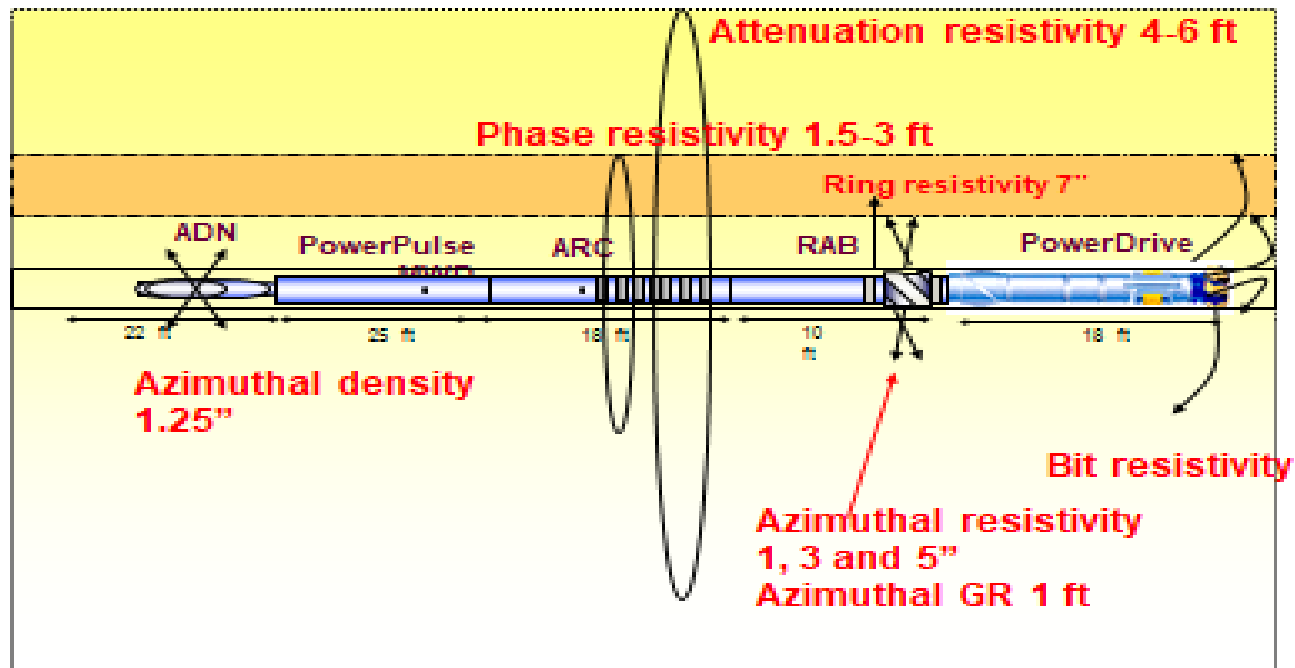
- *GVR o RAB / ADN*



- Resistivity At Bit = GeoVision
Resistivity
- Azimuthal Density Neutron

Sección Horizontal (Geonavegación)

LWD: Profundidad de Investigación

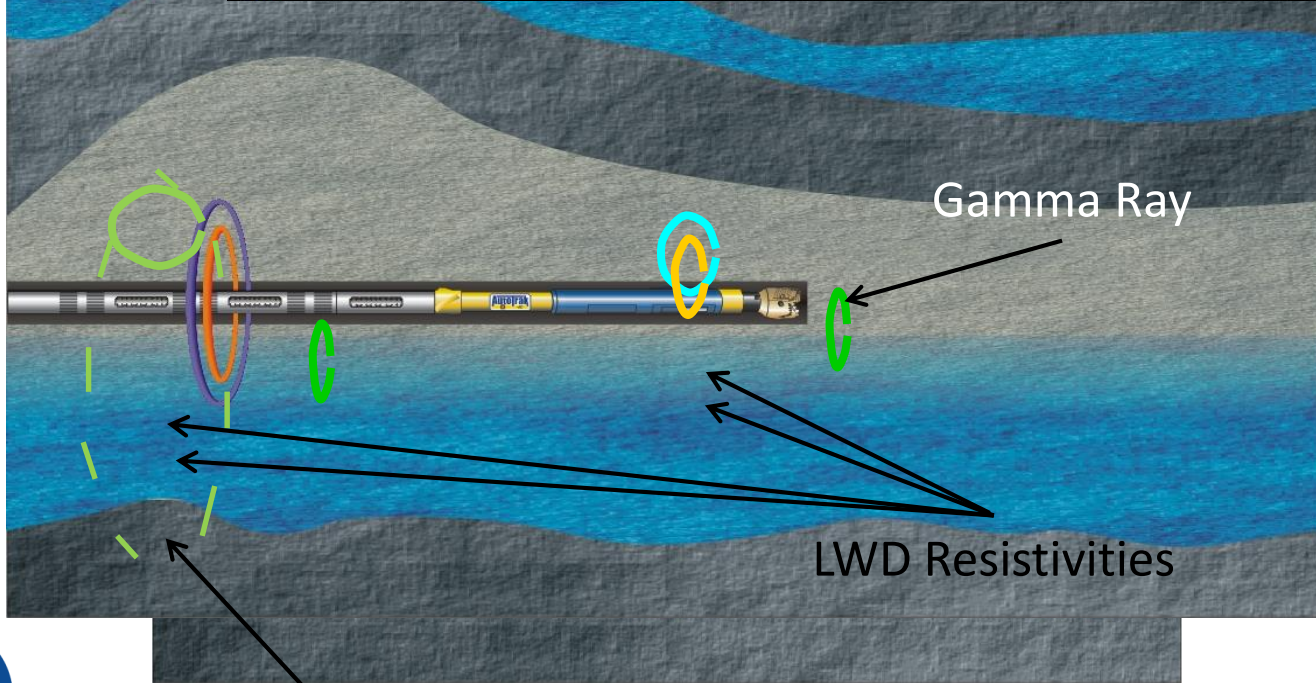
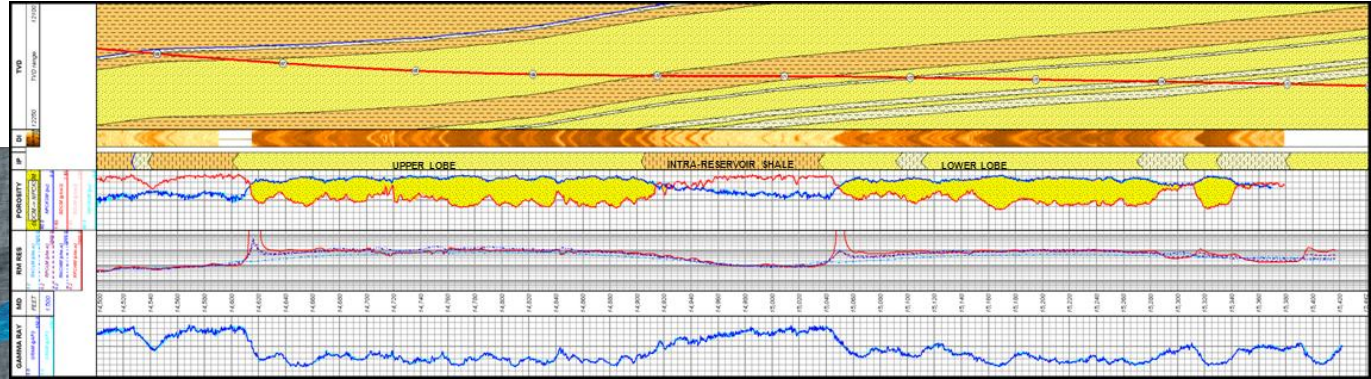
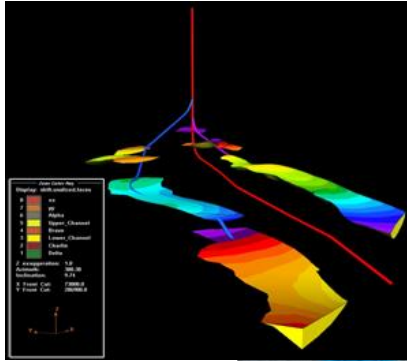


Geonavegación - Transmisión de Información en Tiempo Real -Decisiones-



Society of Petroleum Engineers
Lima Section

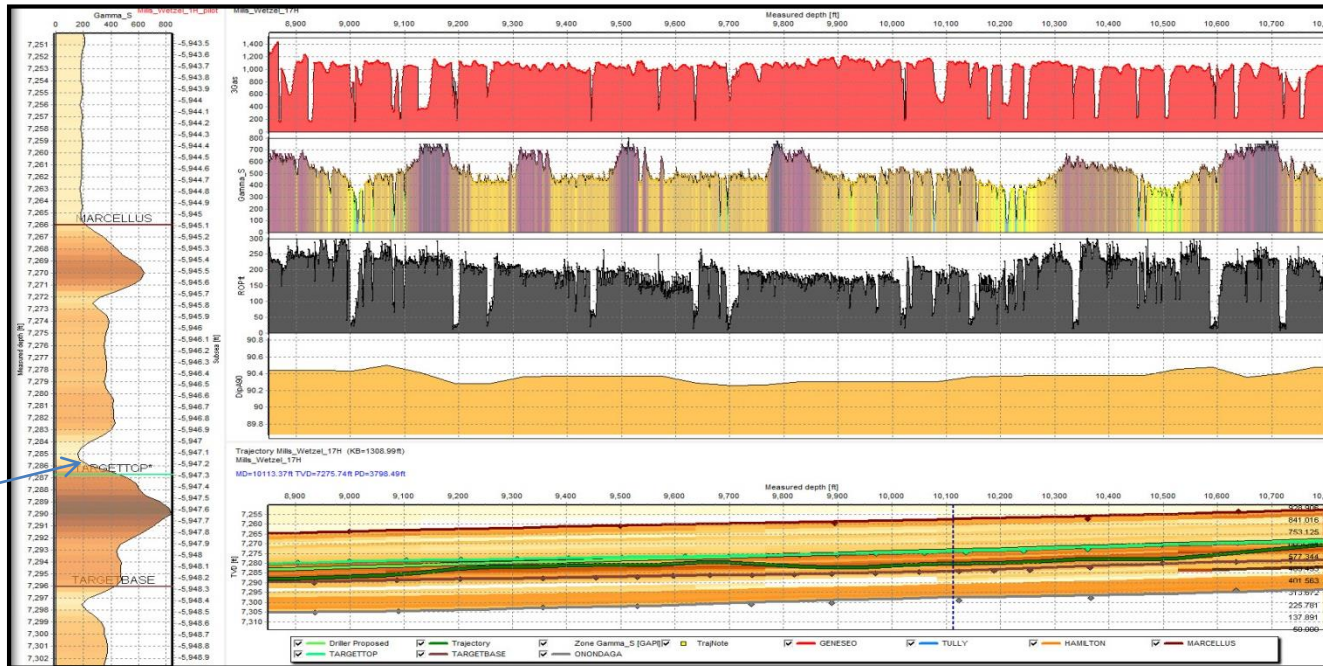
Geonavegación— Decisiones en Tiempo Real



Definición de Geonavegación

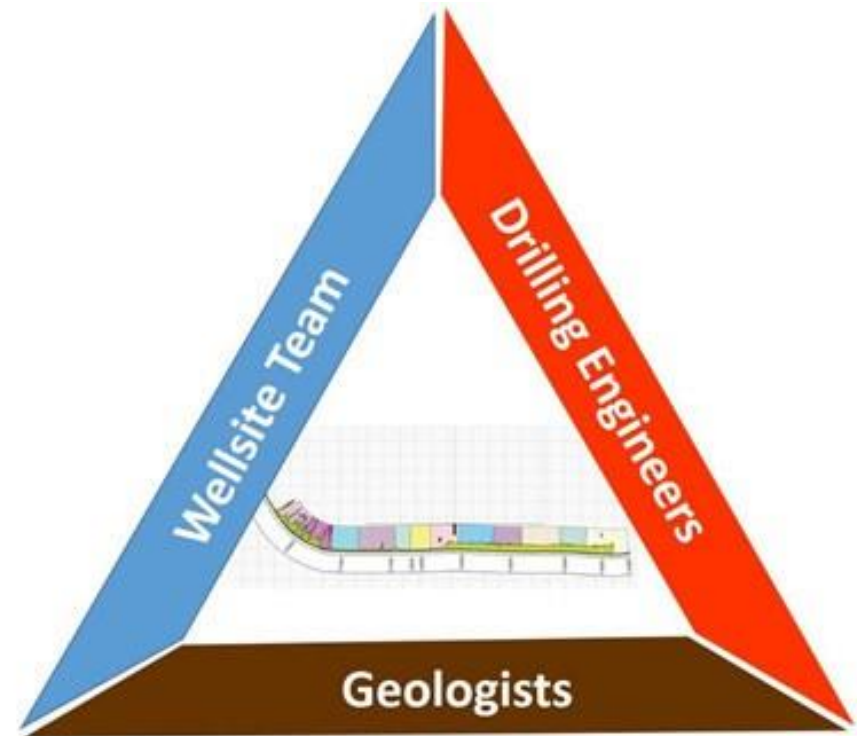
Habilidad para seguir el reservorio ajustando la trayectoria del pozo interactivamente con datos en tiempo real de registros eléctricos para maximizar el intervalo productivo horizontalmente. Con esto se logra incrementar la producción o inyección del pozo.

3D Gamma Curve



Requerimientos para navegar un Pozo Horizontal

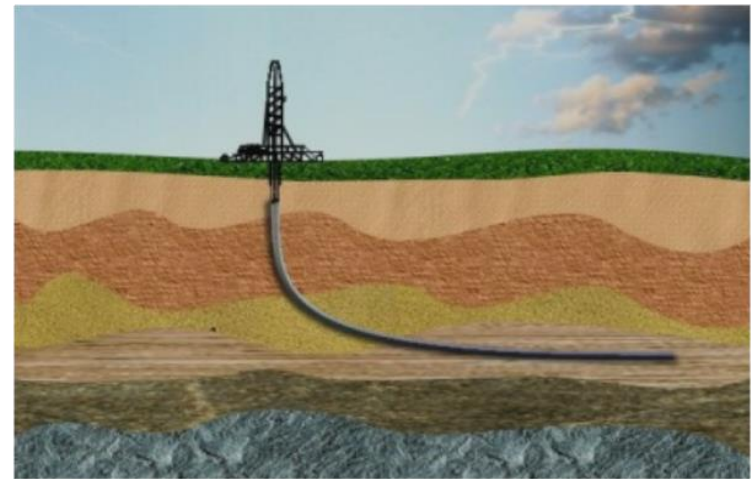
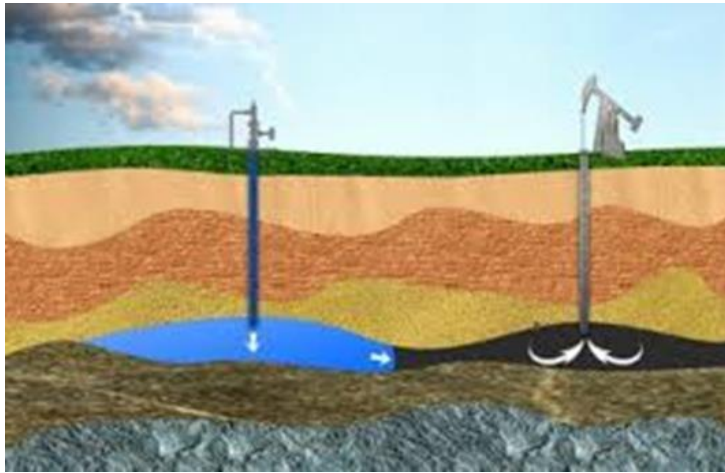
- El Equipo de Trabajo para Geonavegar incluye geólogos, ingenieros de perforación y el personal de campo.
- Profesionales de mucha experiencia
- De preferencia el personal de campo especializado en este tipo de trabajo de pozos horizontales.
- Buena comunicación entre los miembros del equipo.
- Trabajar en forma proactiva tratando de adelantarse a posibles problemas.
- En caso de decisiones correctivas hacerlo en equipo juntamente con el Personal de oficina.



Fire Triangle (Lius et al, 2015)

¿Cómo se geonavega?

- Los datos de pozos vecinos son usados para construir un modelo en 2-D.
- Se prepara un pozo sintético y se incorpora el buzamiento estructural para preparar una sección horizontal a lo largo de la trayectoria propuesta.
- El modelo geológico es usado para determinar:
 - Donde aterrizar en profundidad (entrar en el reservorio aproximadamente)
 - “Qué” esperamos en la estructura hacia adelante (para permanecer en el mejor reservorio)



Opciones de Control Geológico del Pozo

1. No geonavegación
2. Geonavegación en el pozo por un geólogo geonavegador de la Operadora o de una Compañía de Servicios
3. Geonavegación 100% por geólogos de la Operadora en la oficina
4. Geonavegación remota en la oficina por una Compañía de Servicios
5. Geonavegación en la oficina de la Compañía de Servicios



Sección Horizontal (Geonavegación)

1- Mediciones directas

- Registros eléctricos en tiempo real (LWD).
- Se prepara un modelo geológico y se mapea la trayectoria del pozo que se va perforando.
- El modelo se va actualizando de acuerdo a los registros LWD en Tiempo Real.



Geonavegación Estratigráfica

- 1) Identificar la posición de la broca estratigráficamente.
- 2) Hacer proyecciones adecuadas.
- 3) Dar al perforador los objetivos que vienen delante.
- 4) **MANTENER LA TRAYECTORIA DEL POZO EN EL RESERVORIO (SWEET SPOT)**



Geonavegación Estratigráfica

*El Problema con los cuttings...
LAG TIME ?!?!*

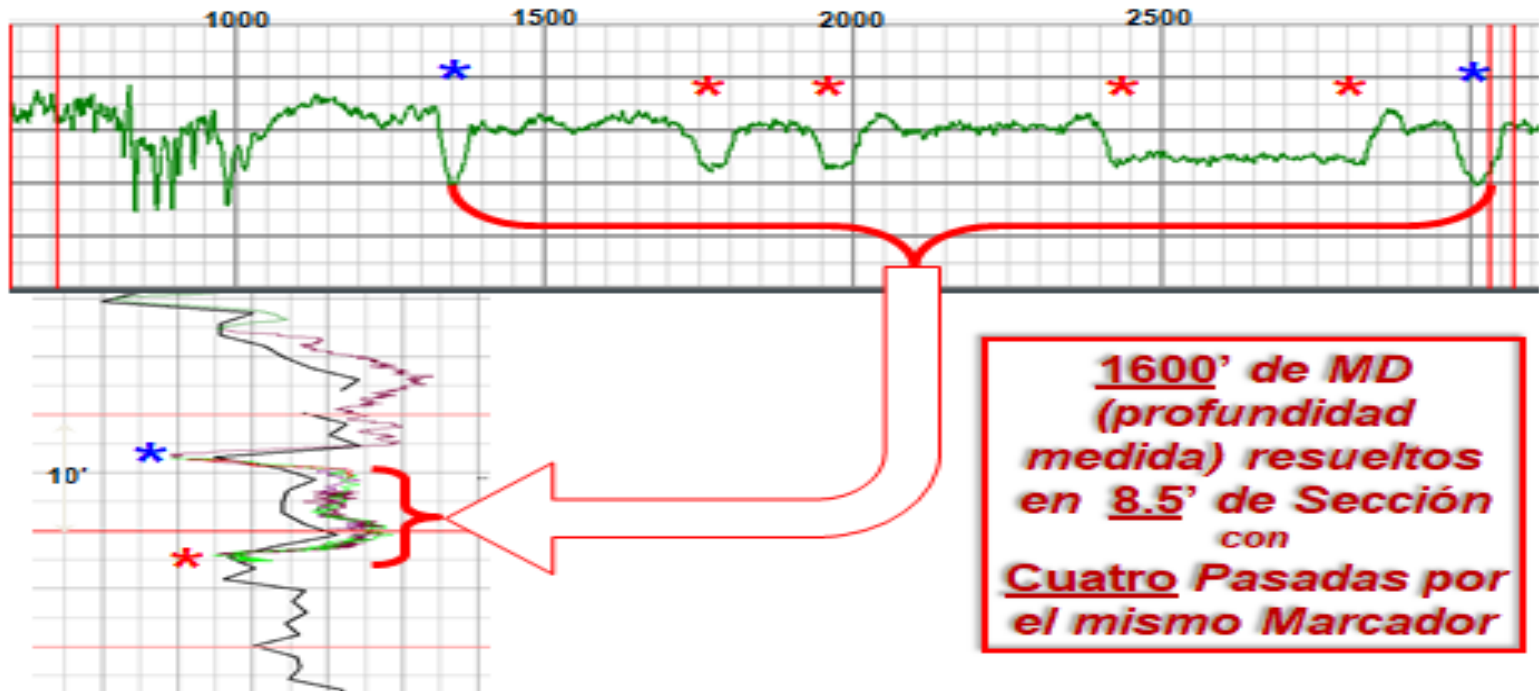
Lag Time no es Confiable
Como en los pozos verticales
...especialmente hacia el fondo del pozo



**Tortuosidad de la trayectoria
removidas** **Muestras no**
Llegada tardía de las muestras

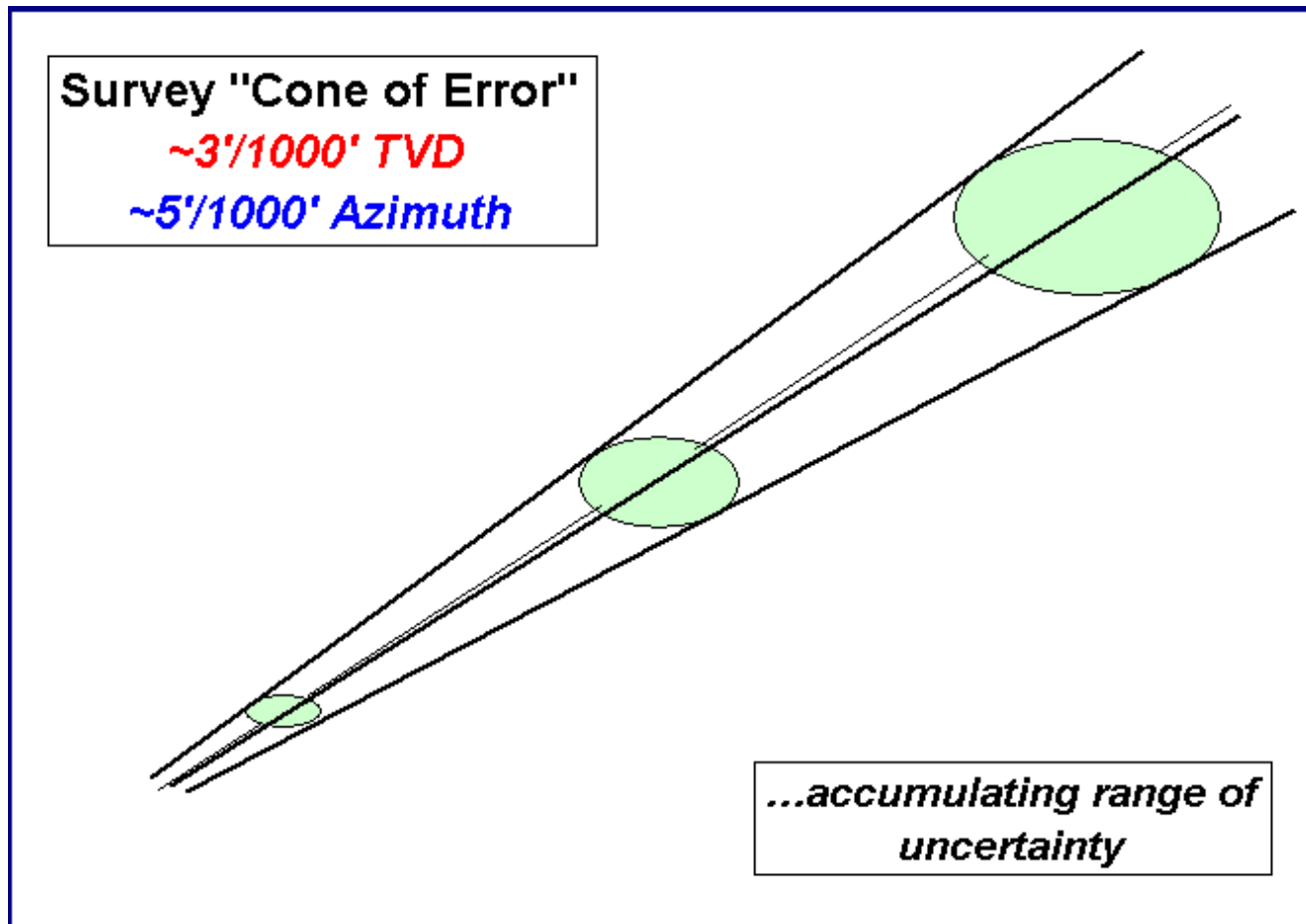


El Problema con los Datos de MD Simples



Limitaciones y Riesgos Potenciales– *SURVEYS*

“Cone de Error”



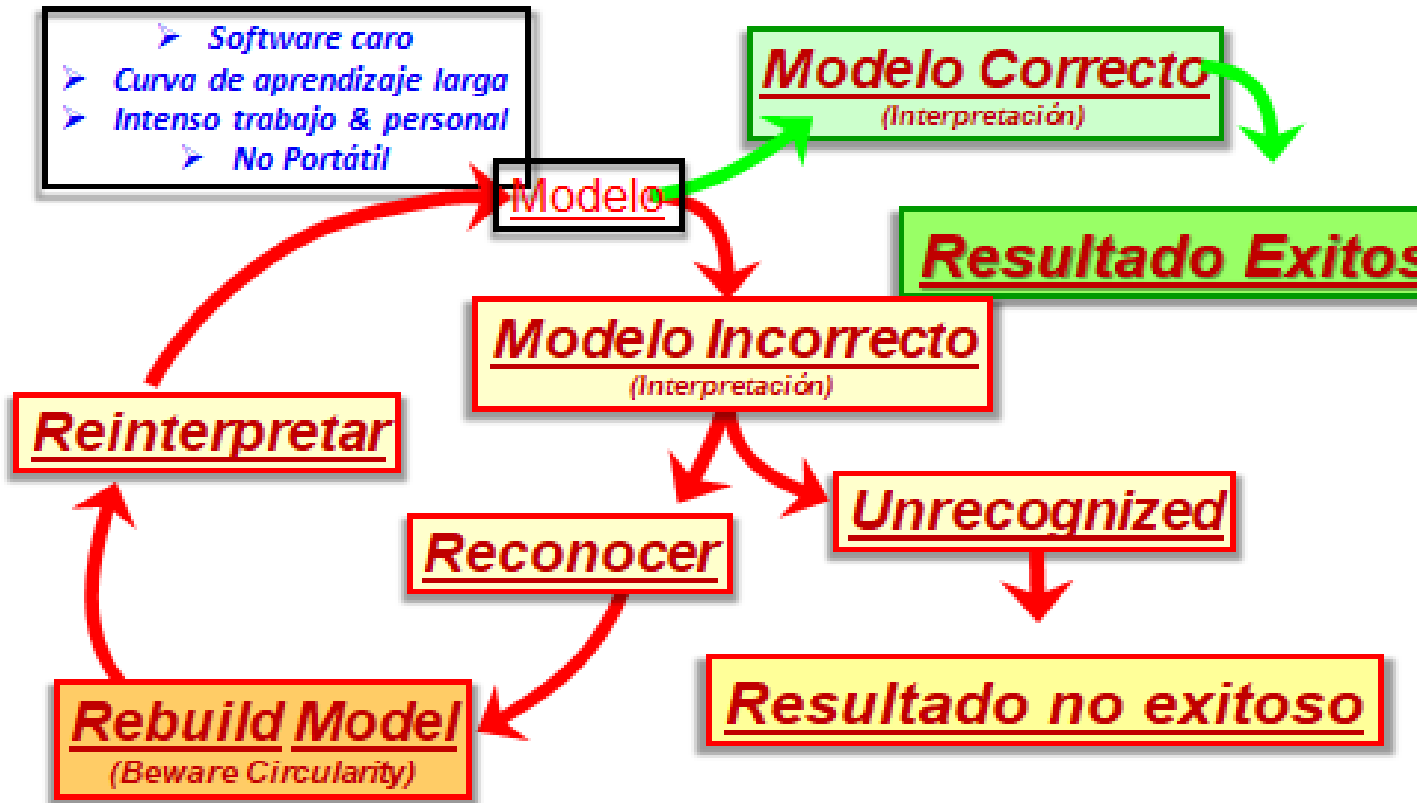
Sección Horizontal (Geonavegación)

2- Modelo Geológico en 3D

- Registros eléctricos en tiempo real (LWD).
- Se requieren los datos de buzamiento de las capas en el pozo conforme se perfora. Esto se hace con la ayuda de imágenes transmitidas y procesadas en tiempo real lo cual ayuda en la navegación adecuada de la capa reservorio.
- Las instrucciones se van dando al ingeniero direccional cuidando de no crear doglegs altos que luego permitan que baje la tubería de completación. El ingeniero direccional luego manda los comandos a las herramientas de fondo.



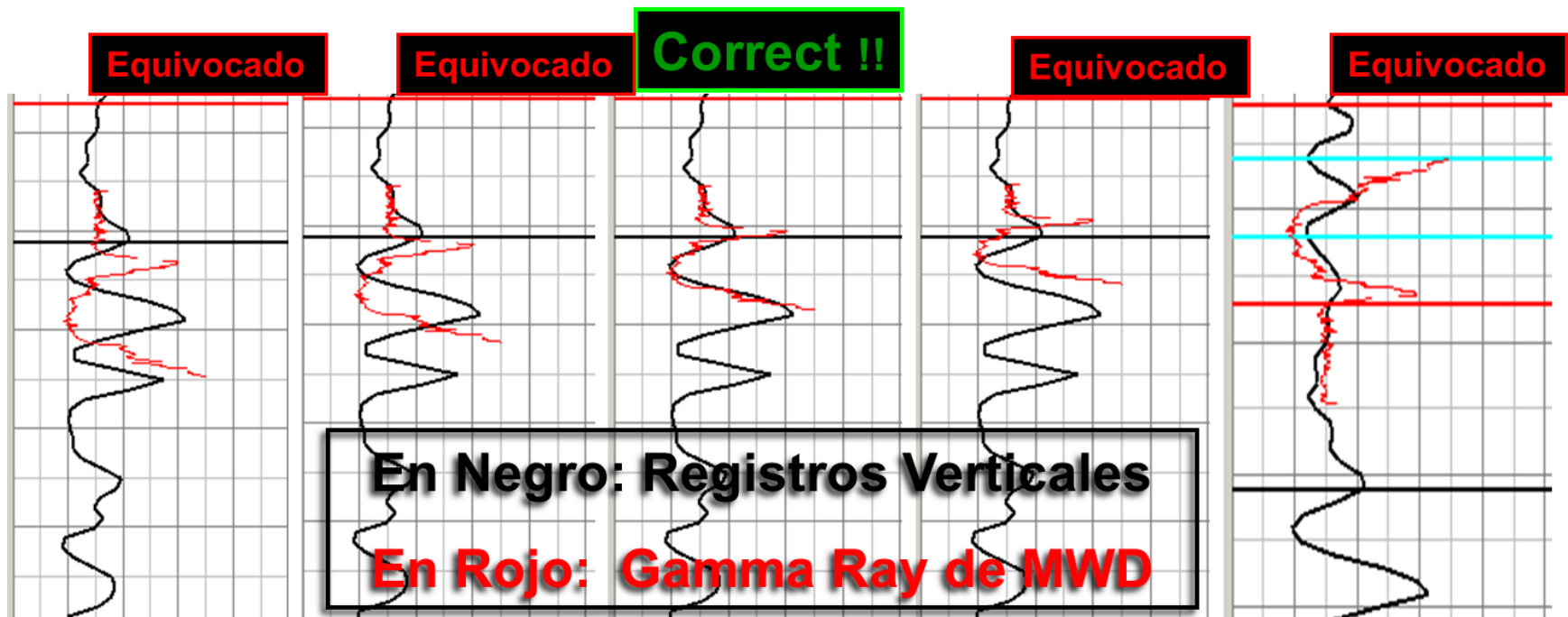
Método de Geonavegación – Modelo Geológico



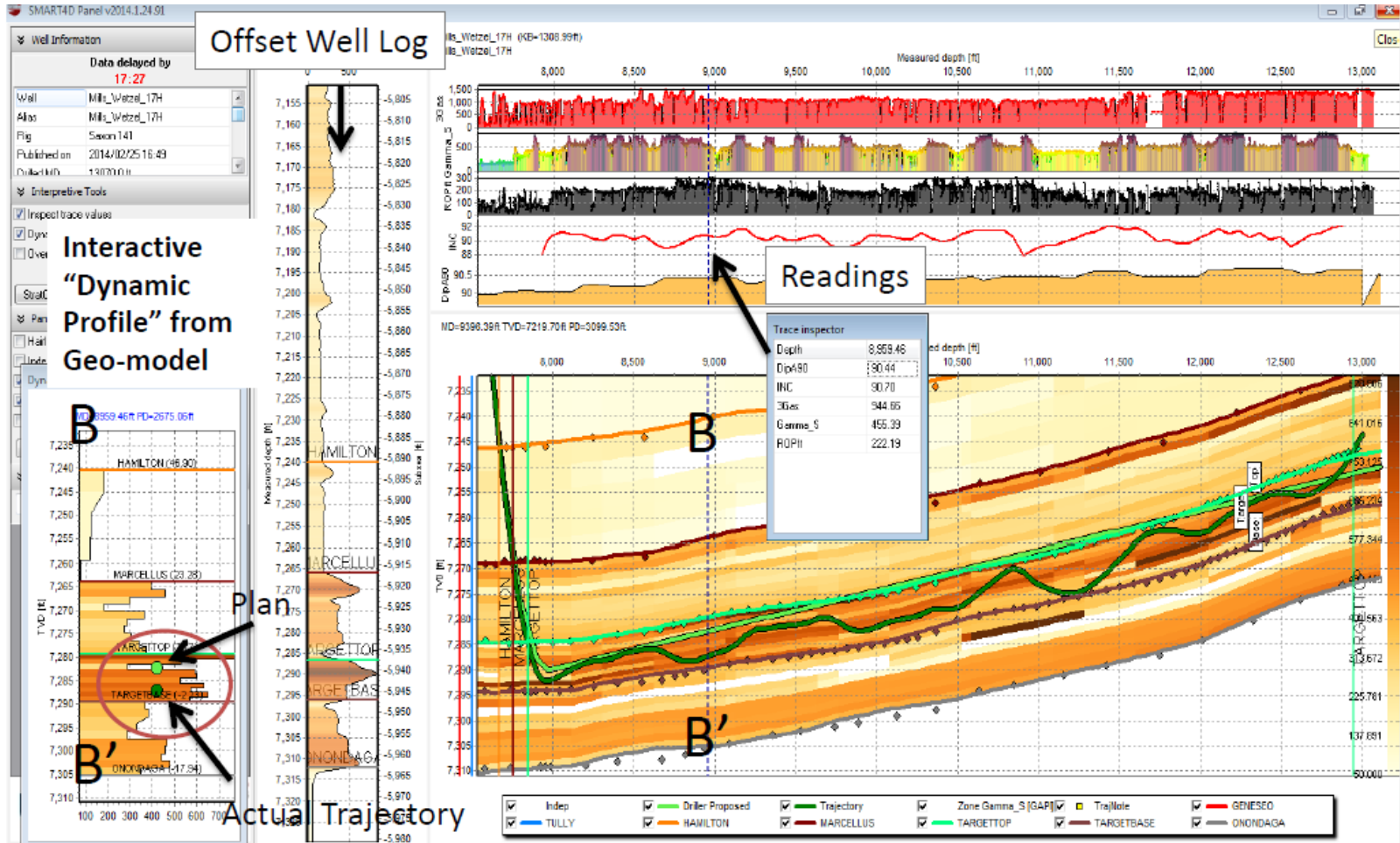
Contexto Geológico– *Conocer y seguir la correlación general !!*

Es un Rompecabeza Geológico...

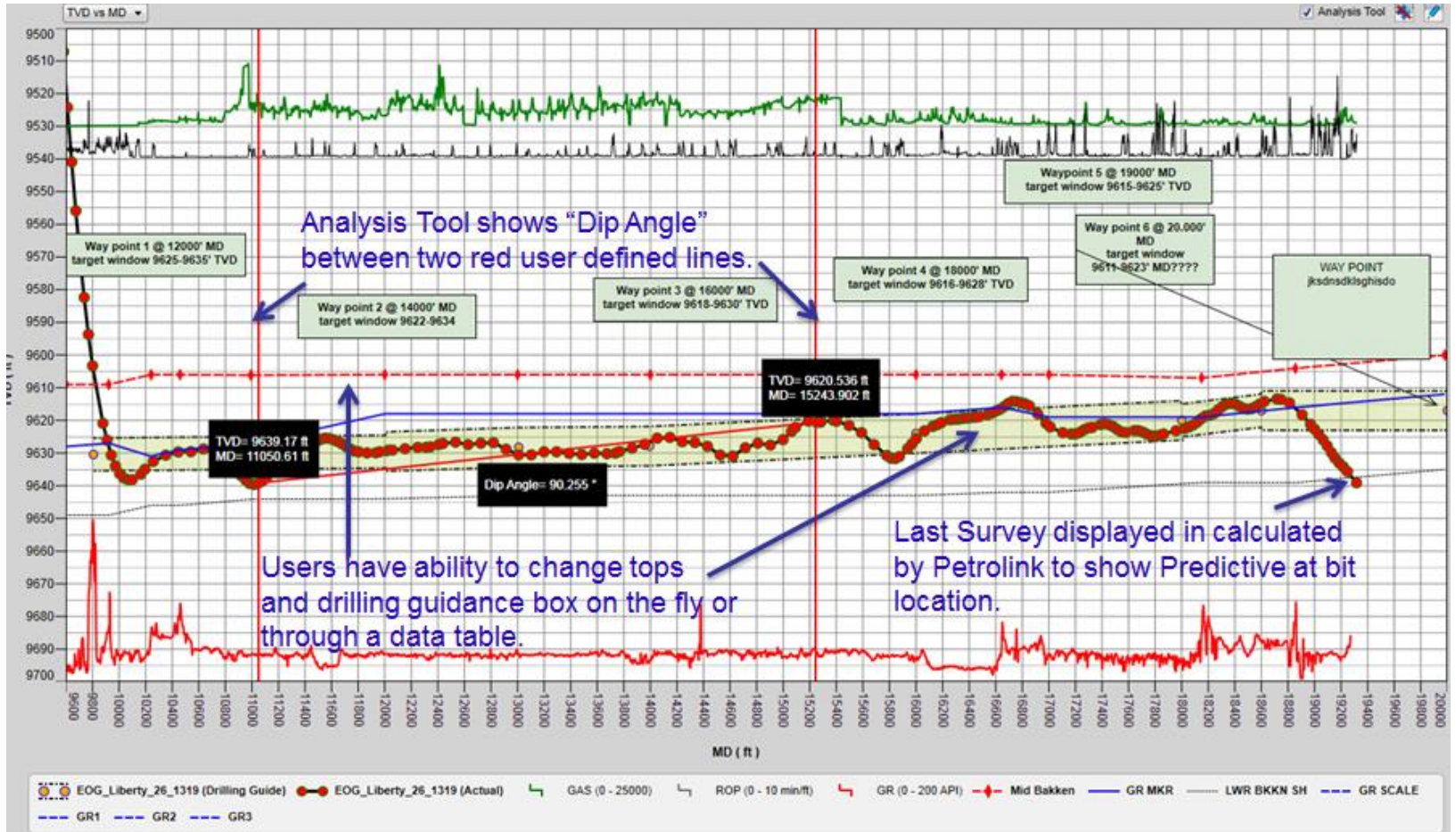
Usar un Geólogo Competente !!



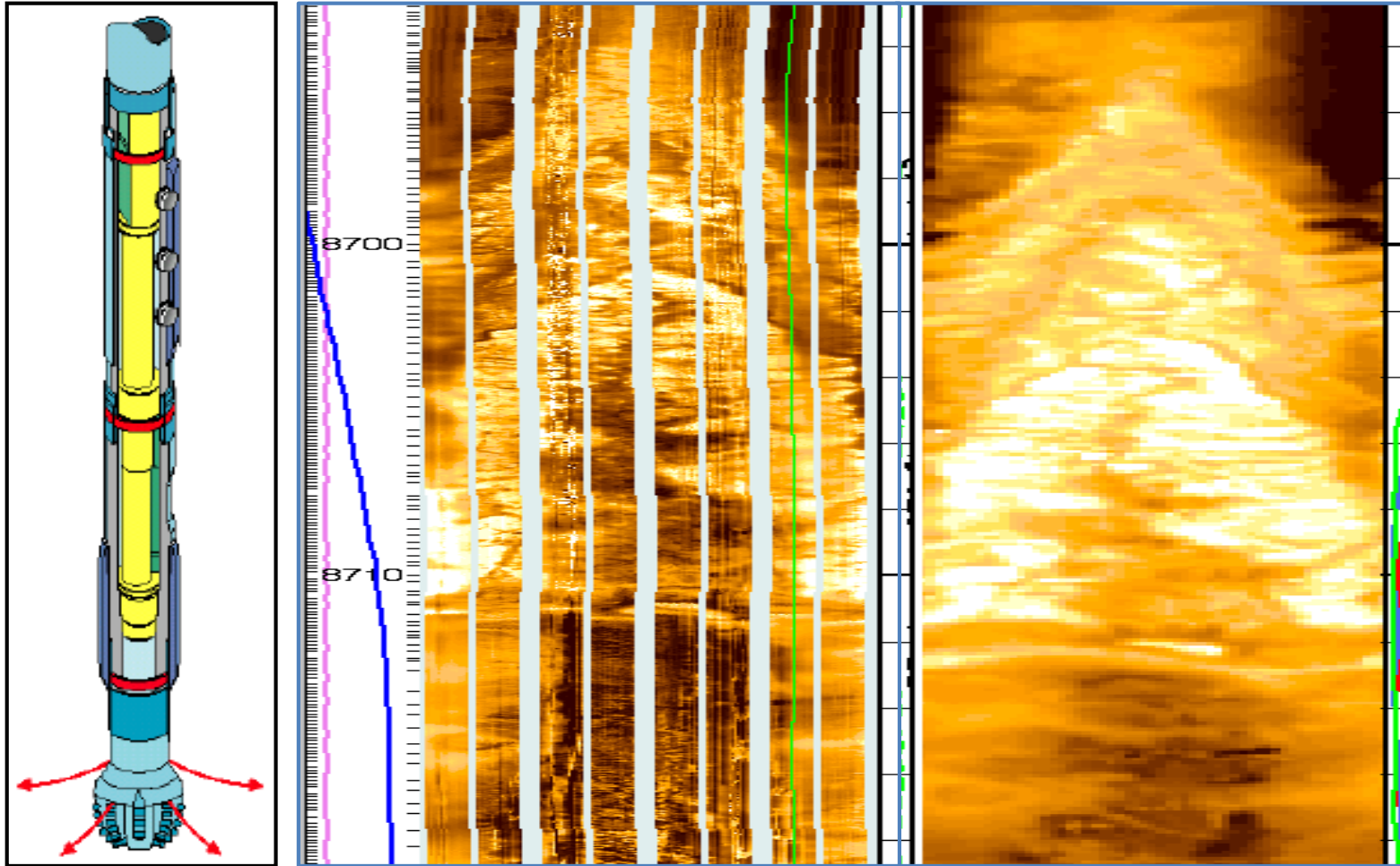
Sección Horizontal (Geonavegación)



Pantalla de Geonavegación



Sección Horizontal (Geonavegación) - Imágenes



FMI

RAB



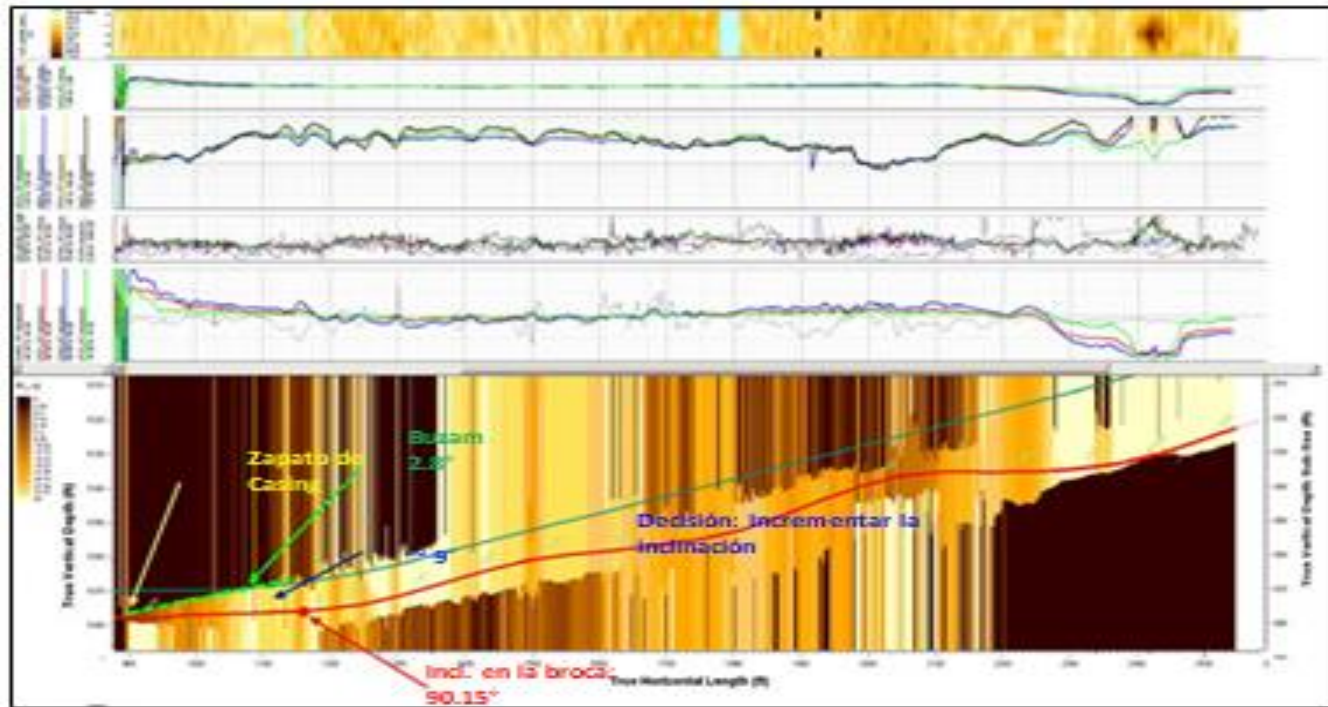
Sección Horizontal (Geonavegación)

3- Inversión o método de detección remota de los límites formacionales

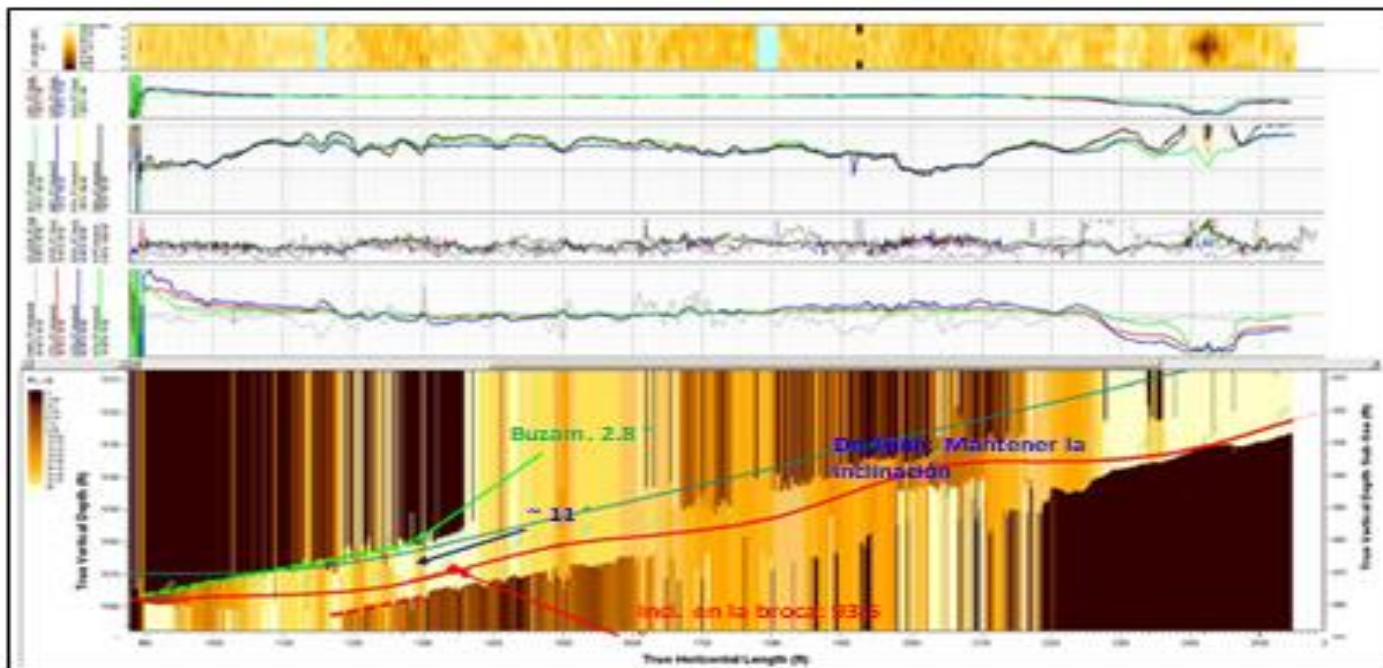
- Registros eléctricos en tiempo real (LWD).
- Se basa en la detección remota de los límites de las capas u horizontes que requieren de herramientas azimutales. Se hace un proceso de inversión, la distancia y dirección de los cambios en la resistividad de la formación pueden ser calculados.
- Esta técnica requiere del conocimiento de valores de resistividad de los topos formacionales dentro de un reservorio y que la inversión lo pueda detectar. Esta mediciones son proporcionadas por herramientas LWD en tiempo real en secciones a lo largo de la trayectoria del pozo y se van haciendo las correcciones interactivamente.



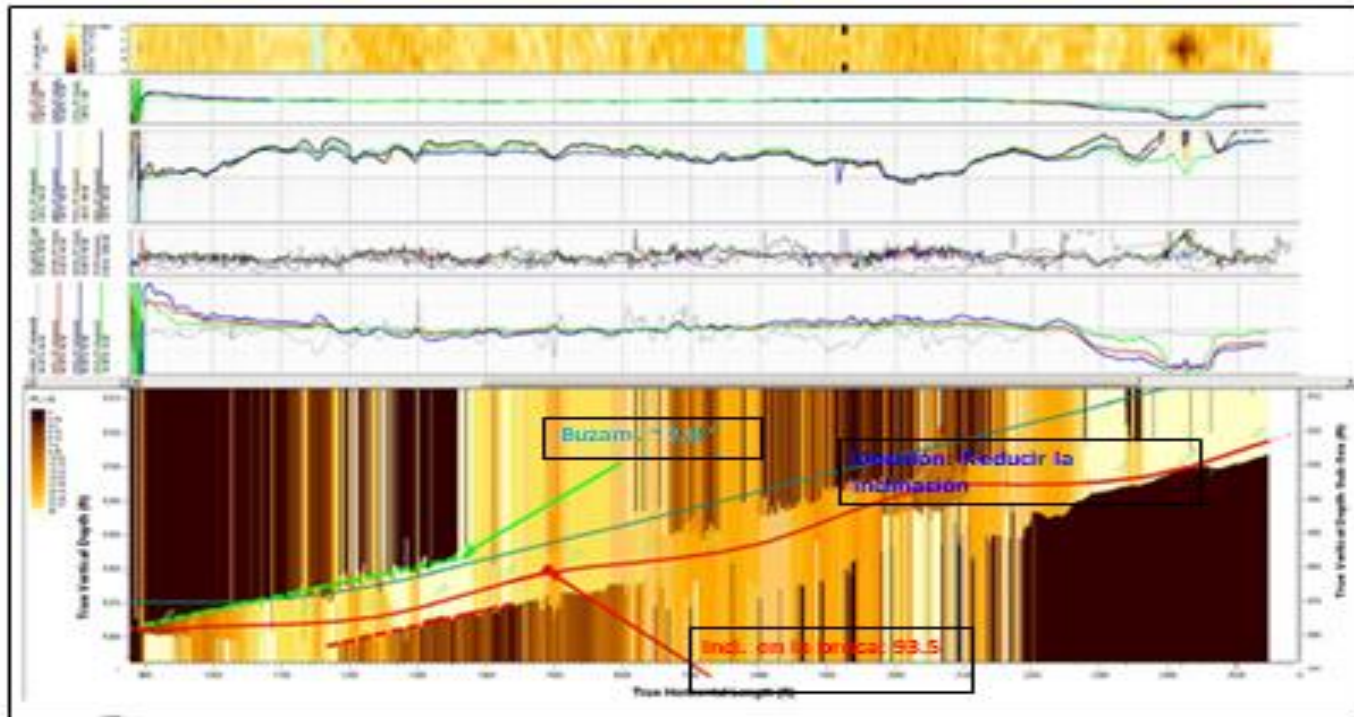
Geonavegación: Decisiones (1)



Geonavegación: Decisiones (2)



Geonavegación: Decisiones (3)



Video de Geonavegación de un pozo

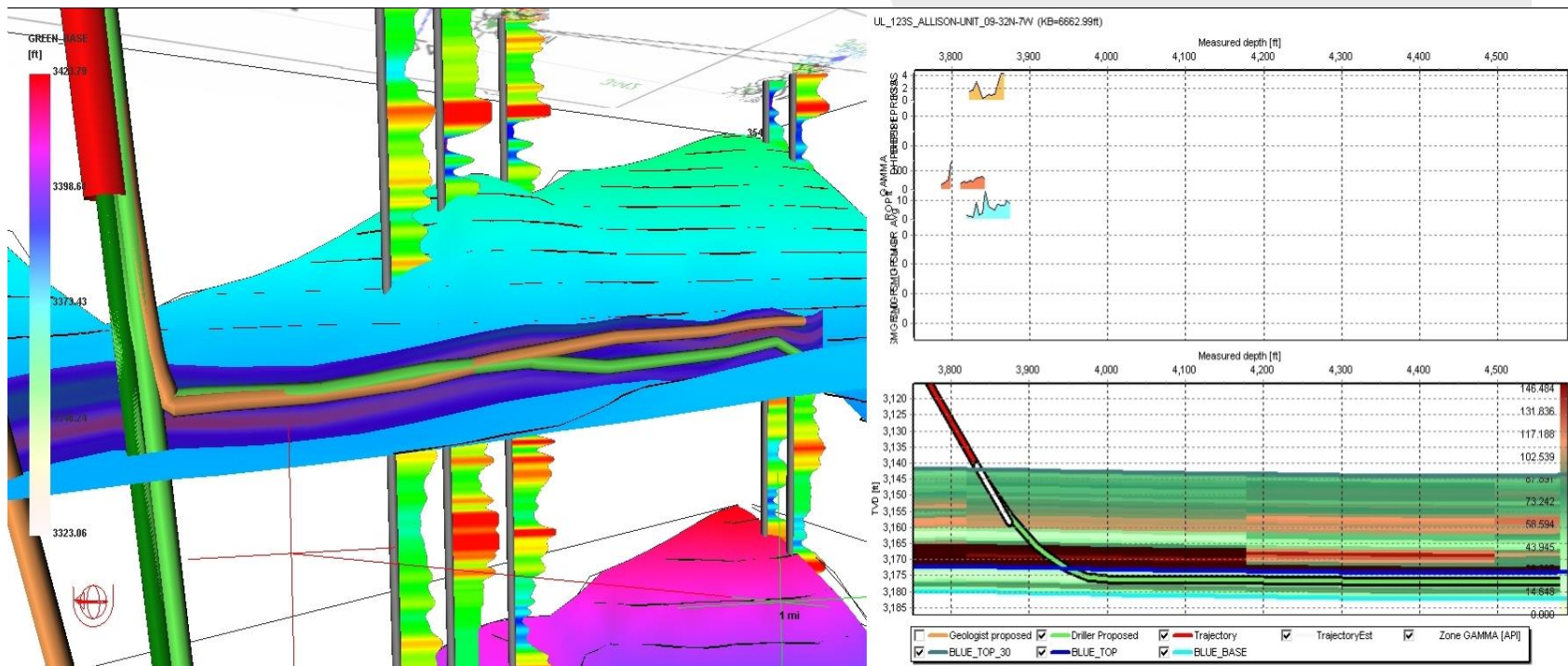


Ejemplo de Pozo Horizontal en Reservorios No Convencionales (Geonavegación)



Society of Petroleum Engineers
Lima Section

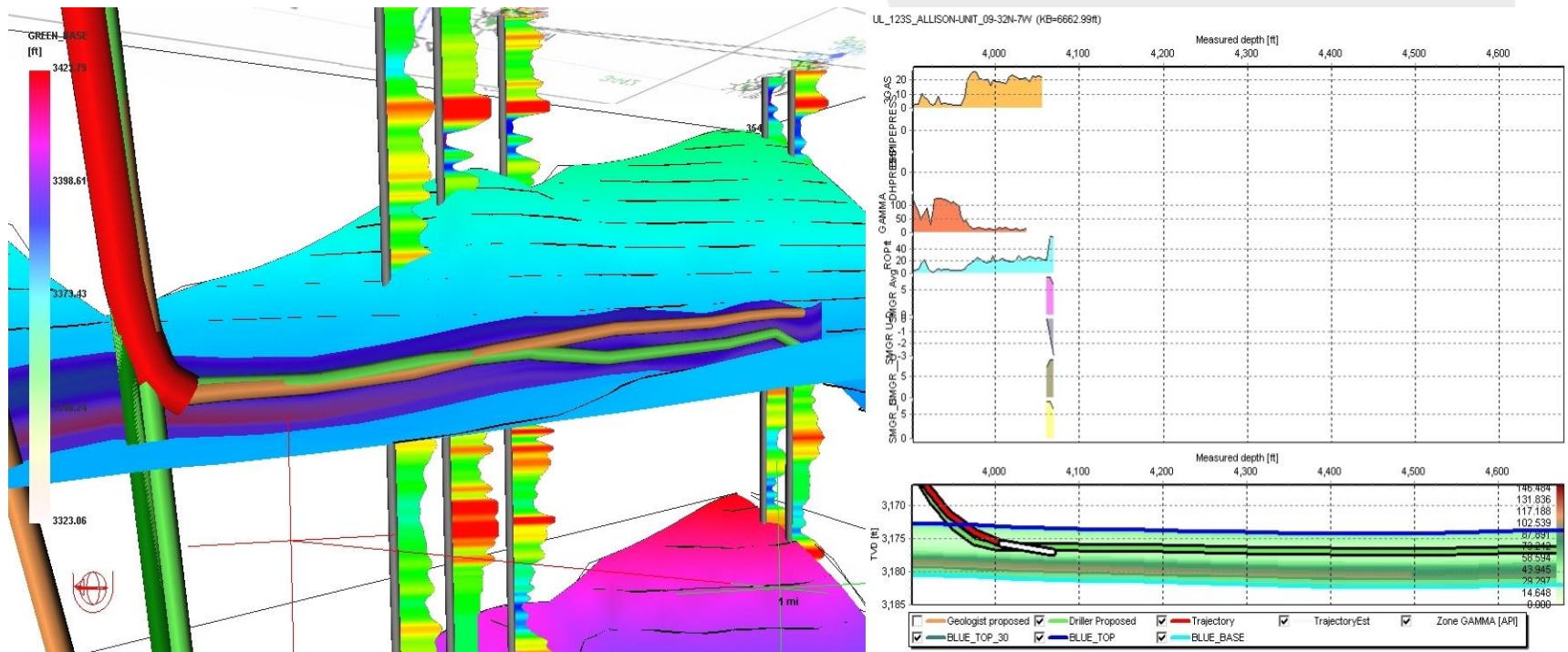
Geomodelamiento y Caracterización en Tiempo Real durante la Perforación



Ejemplo de Geonavegación en la Cuenca de San Juan, New Mexico (1)

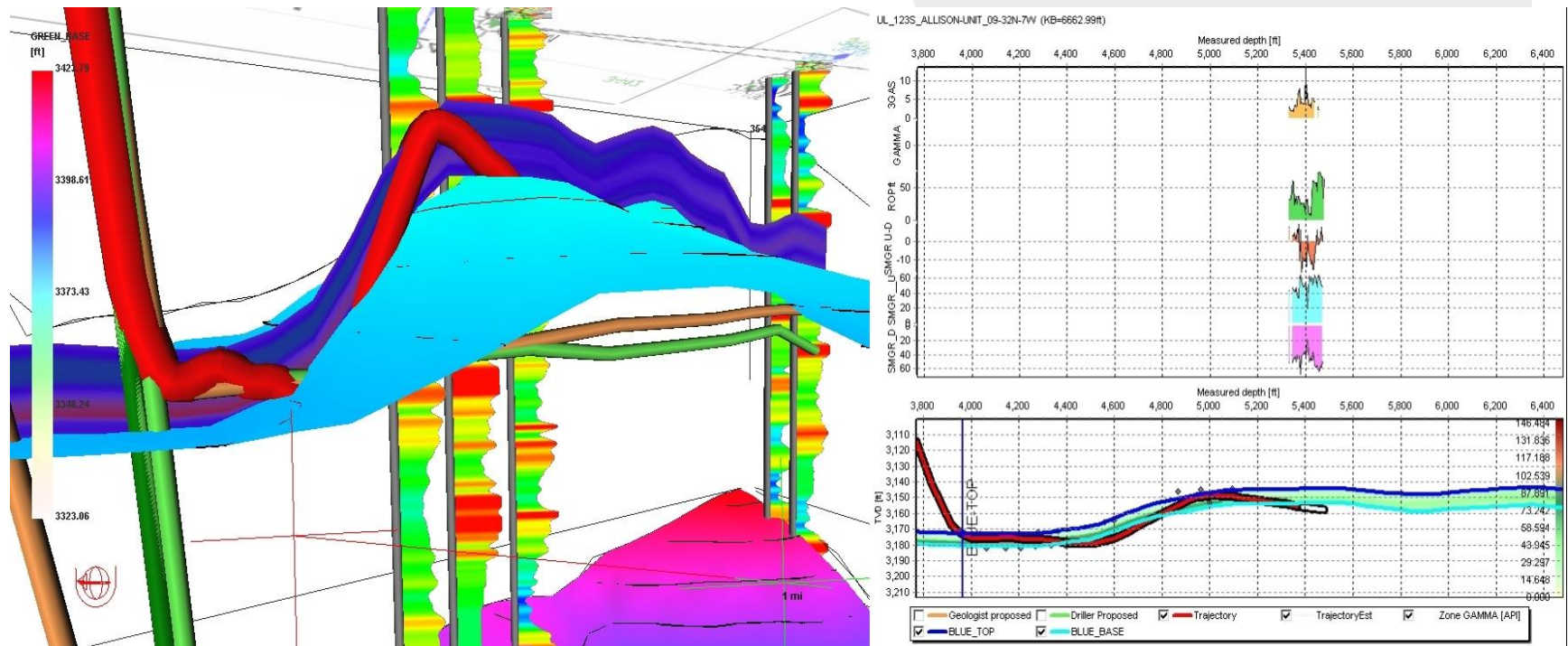


Geomodelamiento y Caracterización en Tiempo Real durante la Perforación



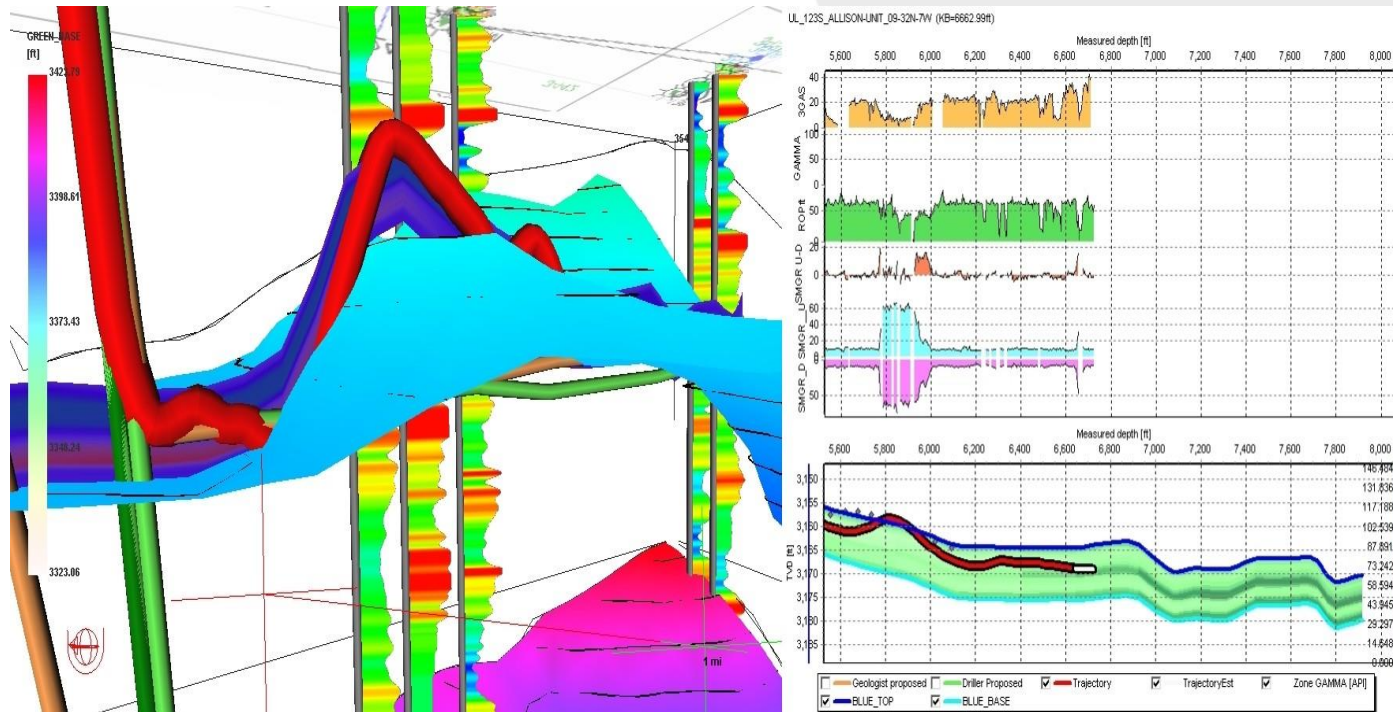
Ejemplo de Geonavegación en la Cuenca de San Juan, New Mexico (2)

Geomodelamiento y Caracterización en Tiempo Real durante la Perforación



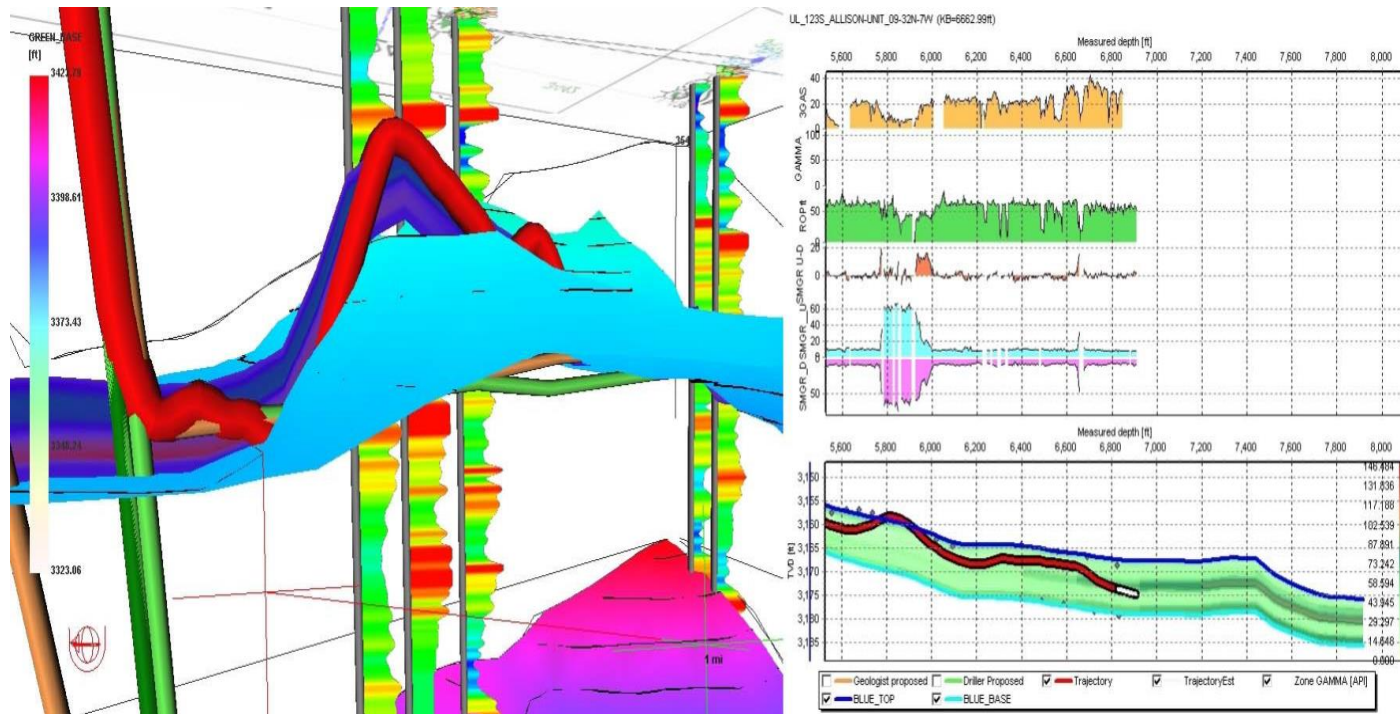
Ejemplo de Geonavegación en la Cuenca de San Juan, New Mexico (3)

Geomodelamiento y Caracterización en Tiempo Real durante la Perforación



Ejemplo de Geonavegación en la Cuenca de San Juan, New Mexico (4)

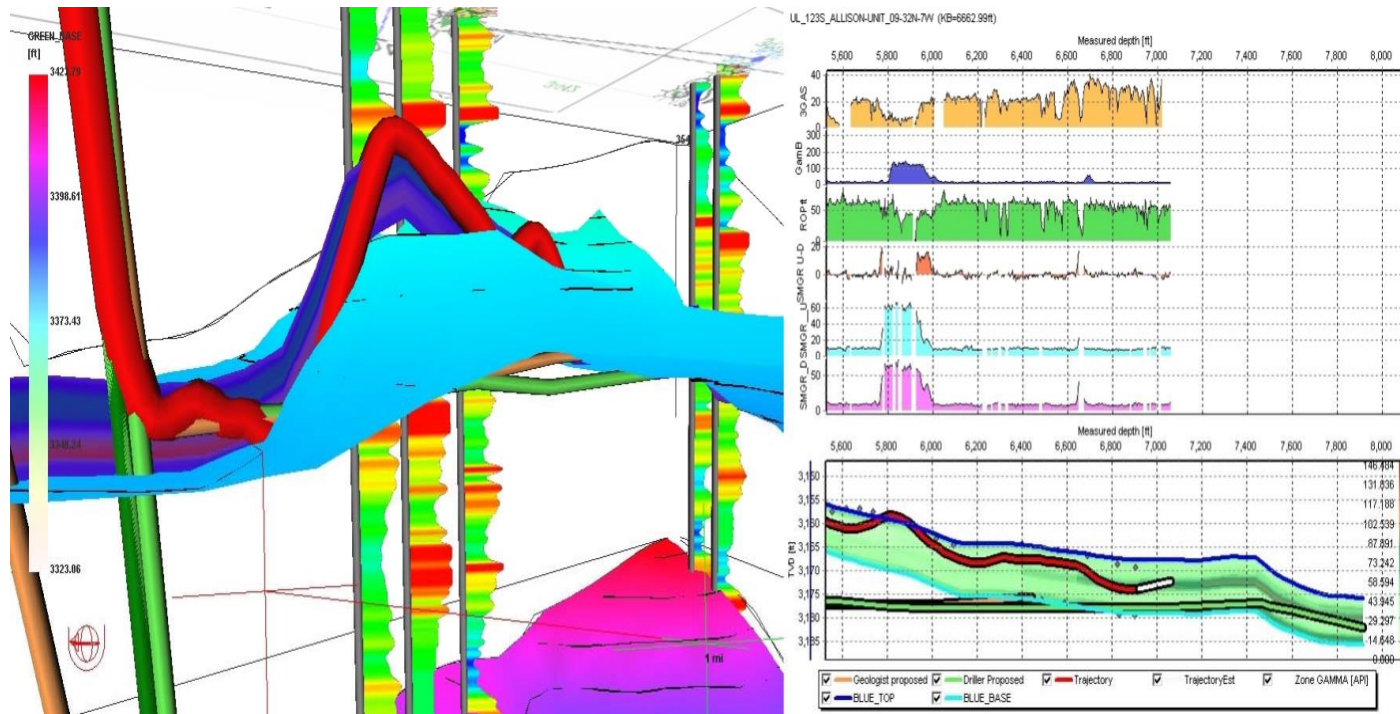
Geomodelamiento y Caracterización en Tiempo Real durante la Perforación



Ejemplo de Geonavegación en la Cuenca de San Juan, New Mexico (5)



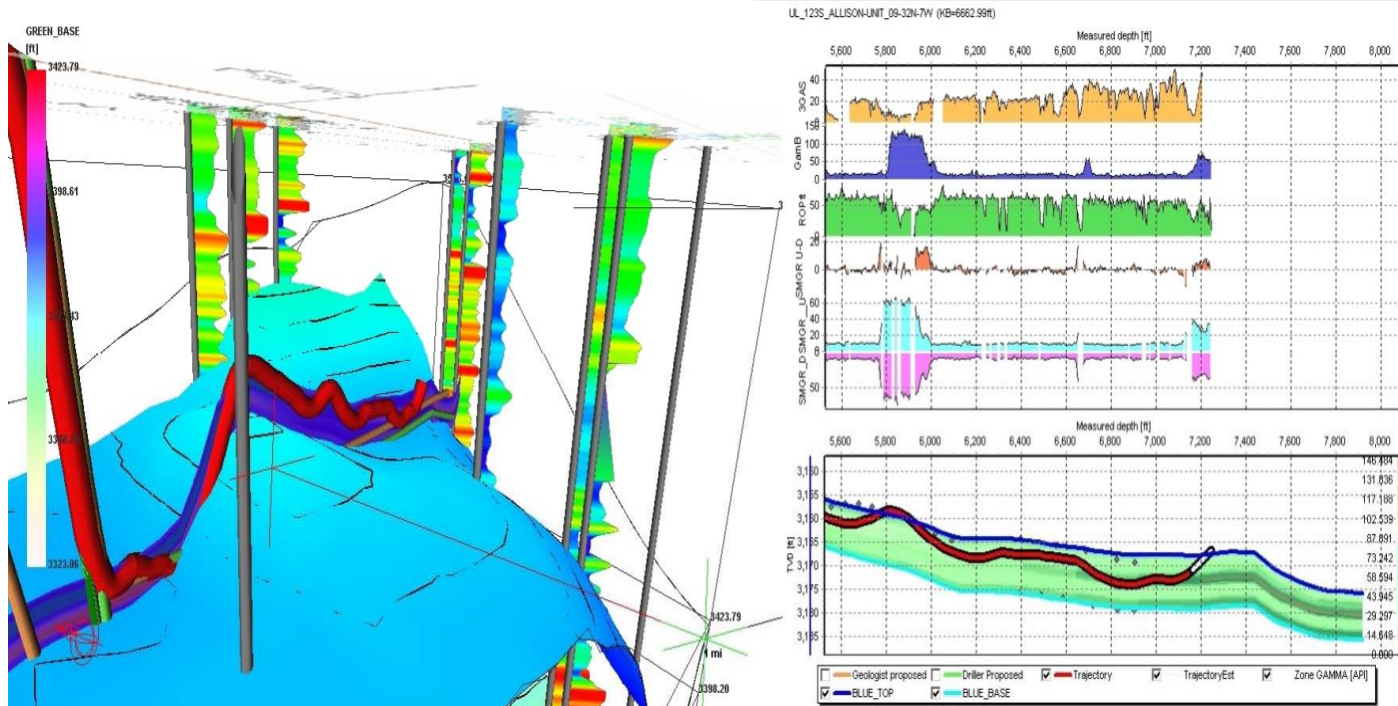
Geomodelamiento y Caracterización en Tiempo Real durante la Perforación



Ejemplo de Geonavegación en la Cuenca de San Juan, New Mexico (6)

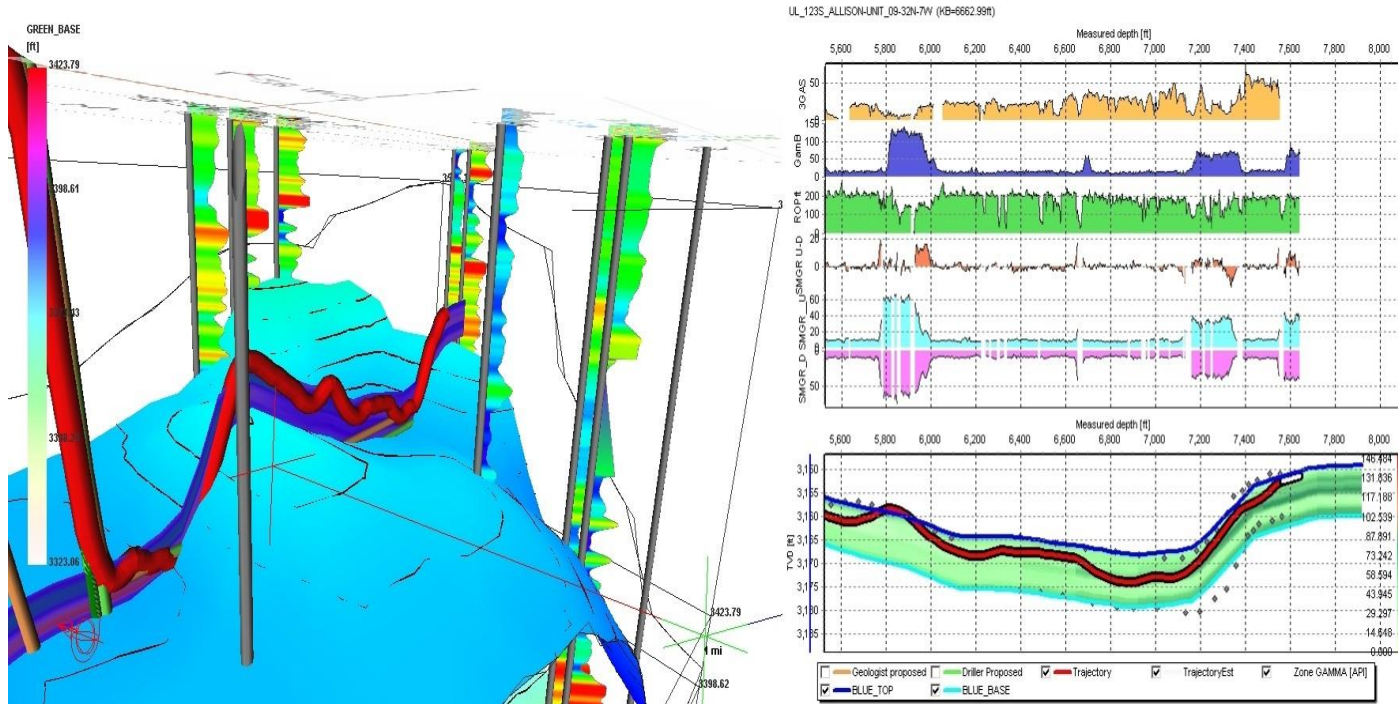


Geomodelamiento y Caracterización en Tiempo Real durante la Perforación



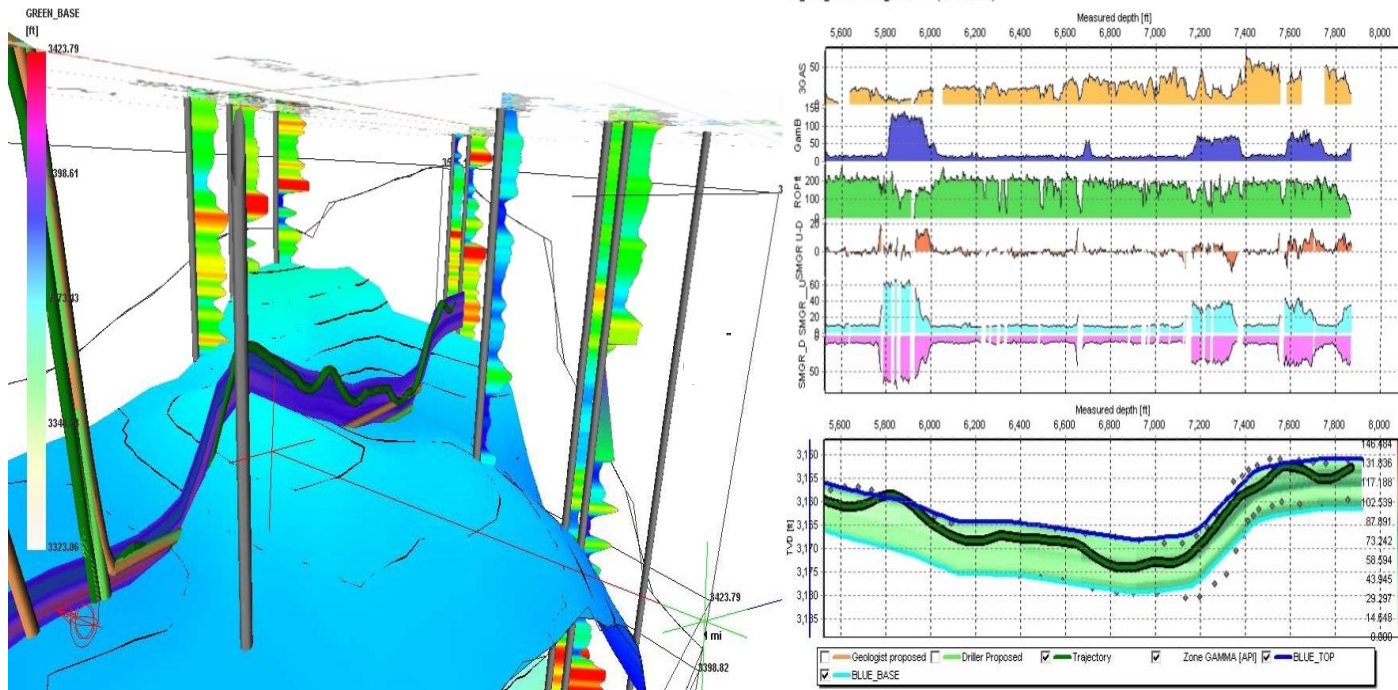
Ejemplo de Geonavegación en la Cuenca de San Juan, New Mexico (7)

Geomodelamiento y Caracterización en Tiempo Real durante la Perforación



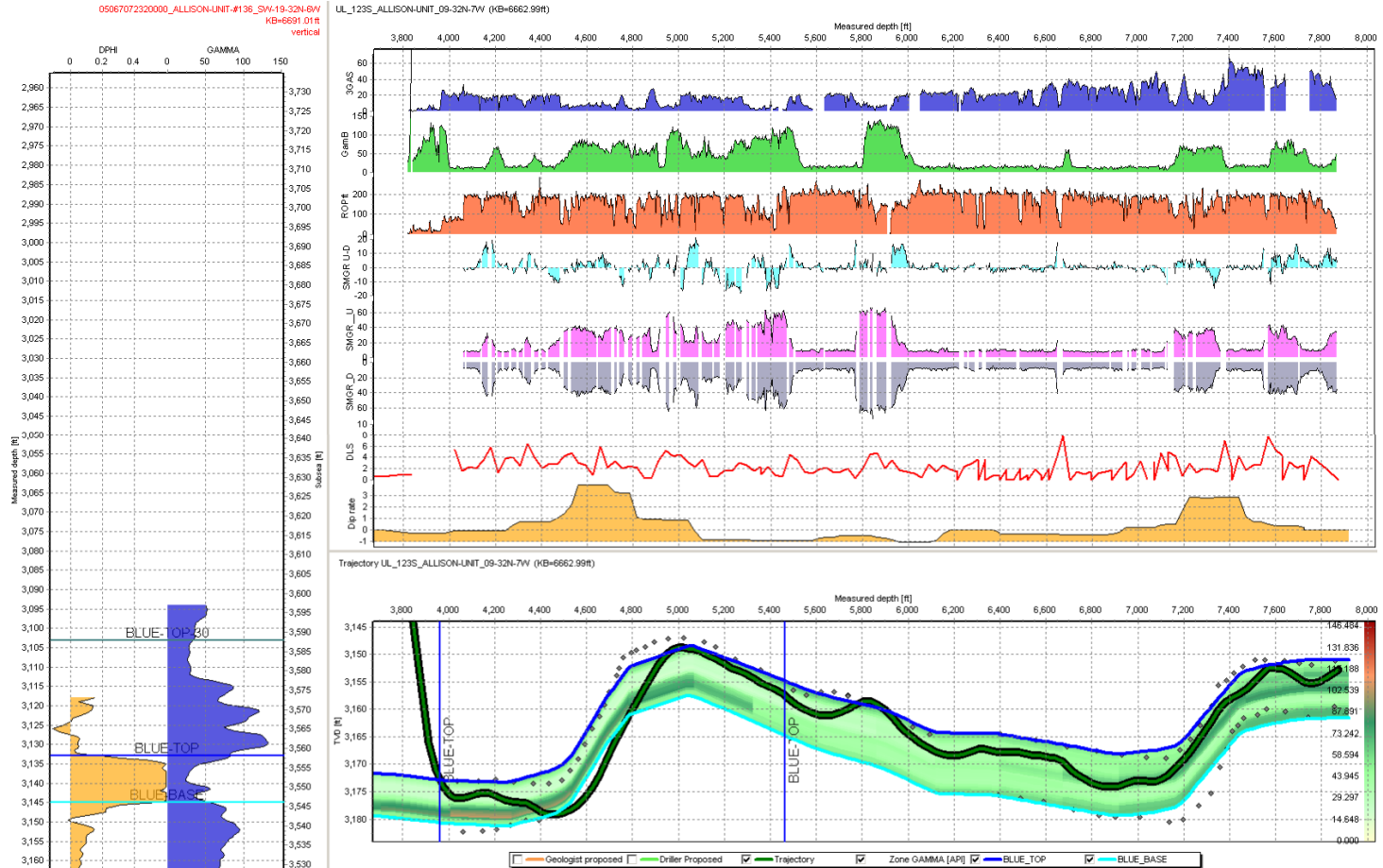
Ejemplo de Geonavegación en la Cuenca de San Juan, New Mexico (8)

Geomodelamiento y Caracterización en Tiempo Real durante la Perforación



Ejemplo de Geonavegación en la Cuenca de San Juan, New Mexico (10)

Geomodelamiento y Caracterización en Tiempo Real durante la Perforación



Ejemplo de Geonavegación en la Cuenca de San Juan, New Mexico (11)



Dos Ejemplos de Campos en Reservorios No Convencionales Estados Unidos



Society of Petroleum Engineers
Lima Section

Williston Basin: Resumen

- Bakken Shale es uno de los reservorios más grandes a nivel mundial.
- Ubicación: North Dakota y Montana
- Area: 520,000 Km²
- Reservas de aproximadamente 4 Billones de barriles de petróleo (la mitad en North Dakota). RF: ~ 14%
- Producción actual promedio es de 1.4 millones de barriles por día.
- La formación Three Forks, ubicada debajo de Bakken, también contiene buen potencial.
- ~ 2 billones de barriles de reservas de petróleo. RF: ~ 14%
- Se puede completar sin interferir la producción de Bakken.
- Sección Horizontal: entre 9,000 a 10,500 pies. TD entre 19,000 a 20,500 pies.
- Perforación: 25-40 días; Complet: 15-20 días
- Costo Perforación: entre 3-6 MM USD
- Costo Completación: entre 2-4 MM USD

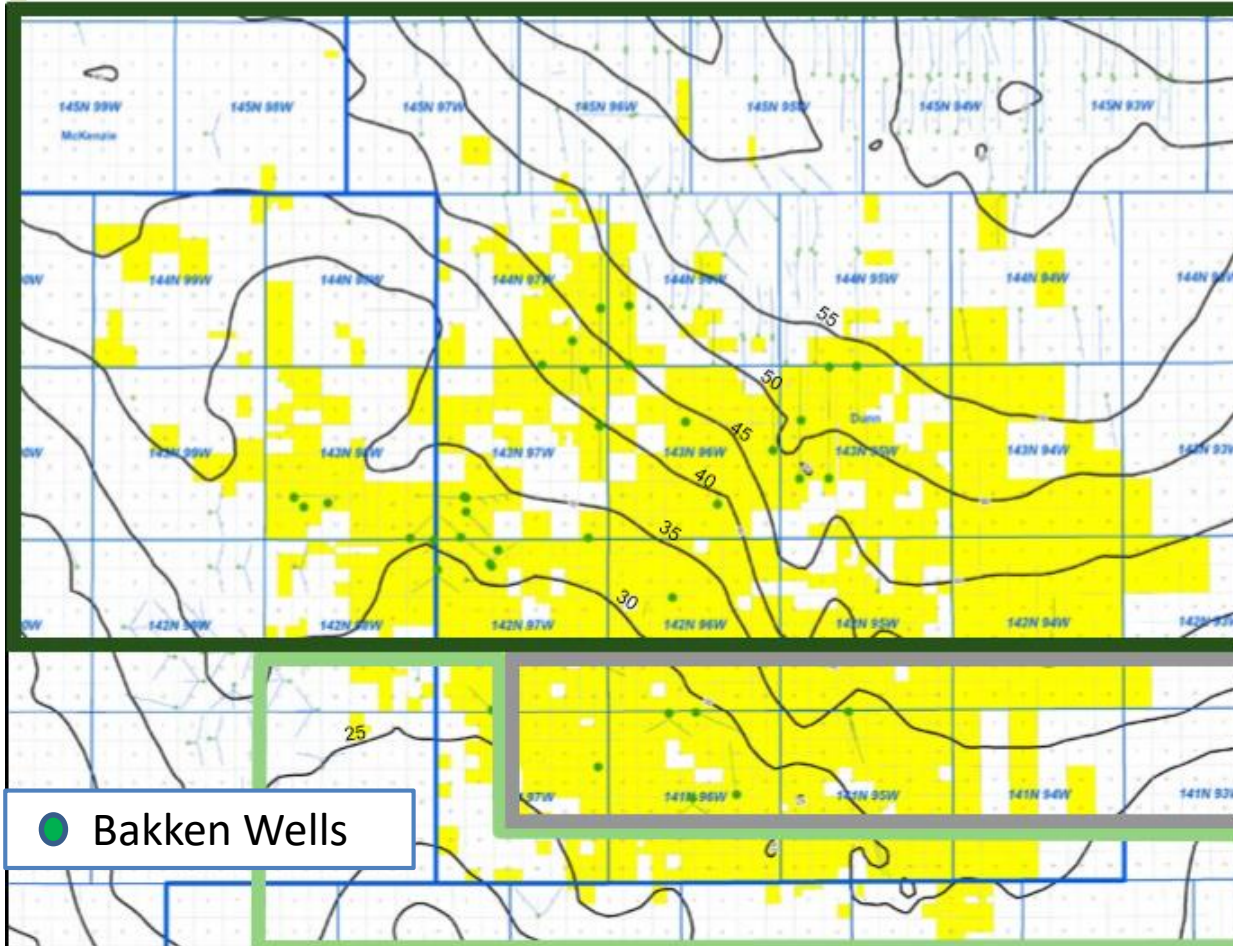
Estratigrafía

| AGE | WILLISTON BASIN |
|---------------|--------------------------|
| PERMIAN | Minnekahta Limestone |
| | Opeche Formation |
| PENNSYLVANIAN | Minnelusa Formation |
| | Amsden Group |
| | Tyler Formation |
| MISSISSIPPIAN | Big Snowy Group |
| | Heath Formation |
| | Otter Formation |
| | Kibbey Formation |
| | Charles Formation |
| | Madison Group |
| DEVONIAN | Mission Canyon Limestone |
| | Lodgepole Limestone |
| | Bakken Formation |
| | Three Forks Formation |
| | Birdbear Formation |
| | Duperow Formation |
| | Souris River Formation |
| | Dawson Bay Formation |
| | Prarie Formation |
| | Winneposis Formation |
| SILURIAN | Interlake Formation |
| | Stony Mountain Formation |
| ORDOVICIAN | Red River Formation |
| | Winnipeg Formation |
| CAMBRIAN | Deadwood Formation |
| PRE-CAMBRIAN | Pre-Beltian |



Williston Basin: Bakken Shale (Plan de Desarrollo)

Bakken Shale Development by Region



Northern Area

| | |
|-----------------------|-------------------|
| Gross / Net Acres | 193,322 / 124,837 |
| Avg Bakken Thickness | 41' |
| Development Units | 211 |
| Development Locations | 799 |
| Development Reserves | 115 MBoe |

Central Area

| | |
|-----------------------|-----------------|
| Gross / Net Acres | 63,313 / 35,535 |
| Avg Bakken Thickness | 29' |
| Development Units | 58 |
| Development Locations | 169 |
| Development Reserves | 28 MBoe |

Southern Area

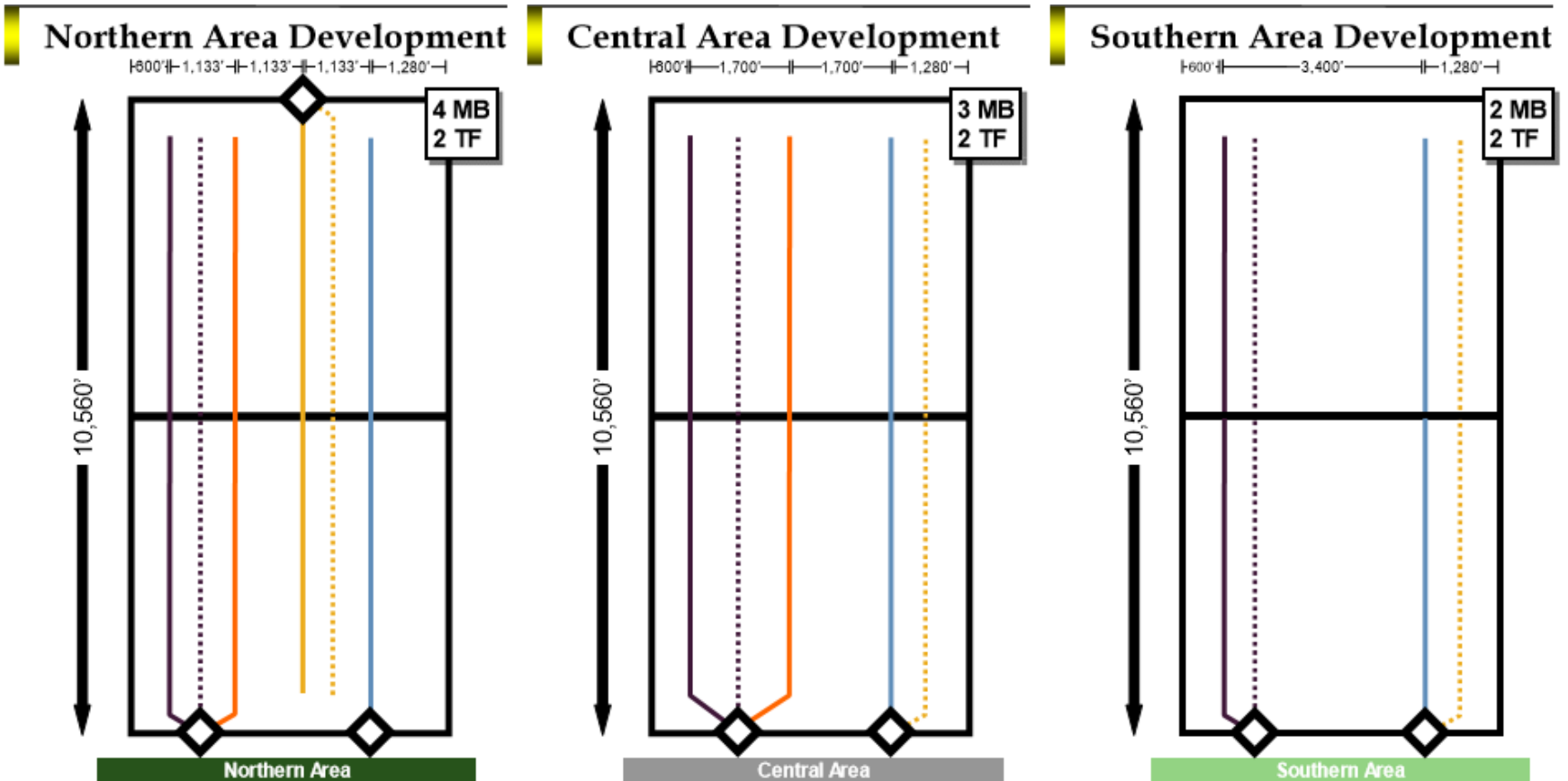
| | |
|-----------------------|-----------------|
| Gross / Net Acres | 27,730 / 14,920 |
| Avg Bakken Thickness | 28' |
| Development Units | 44 |
| Development Locations | 86 |
| Development Reserves | 9 MBoe |

Total Bakken

| | |
|-----------------------|-------------------|
| Gross / Net Acres | 284,365 / 175,292 |
| Avg Bakken Thickness | 37' |
| Development Units | 313 |
| Development Locations | 1,054 |
| Development Reserves | 152 MBoe |

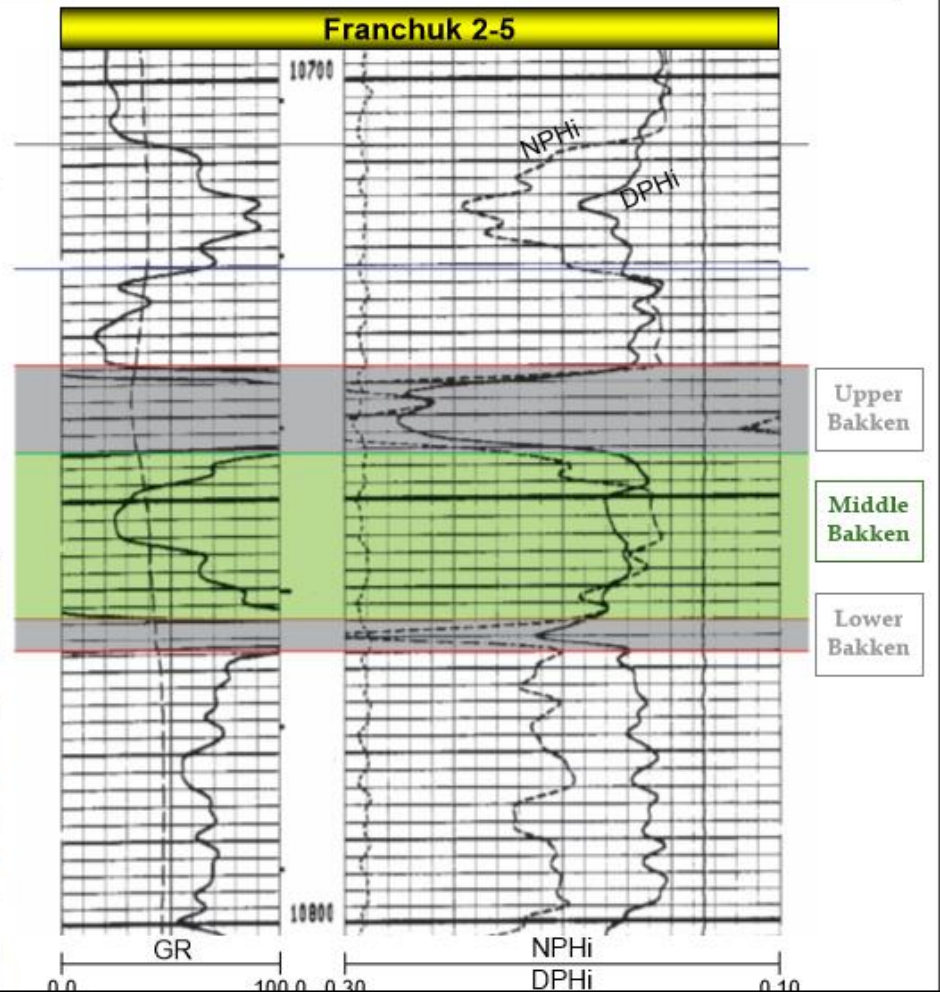
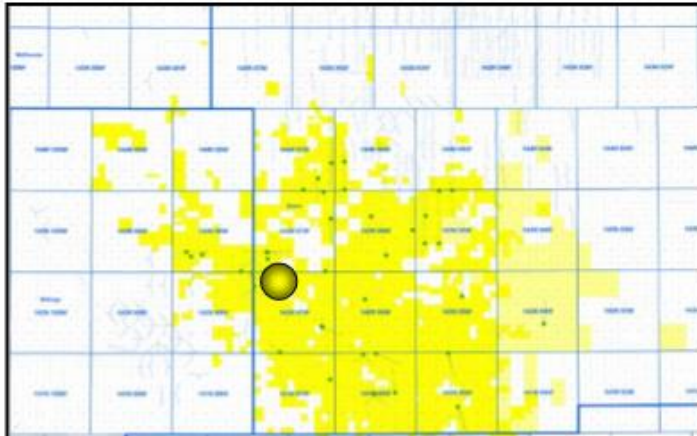


Williston Basin: Bakken Shale (Estrategia)



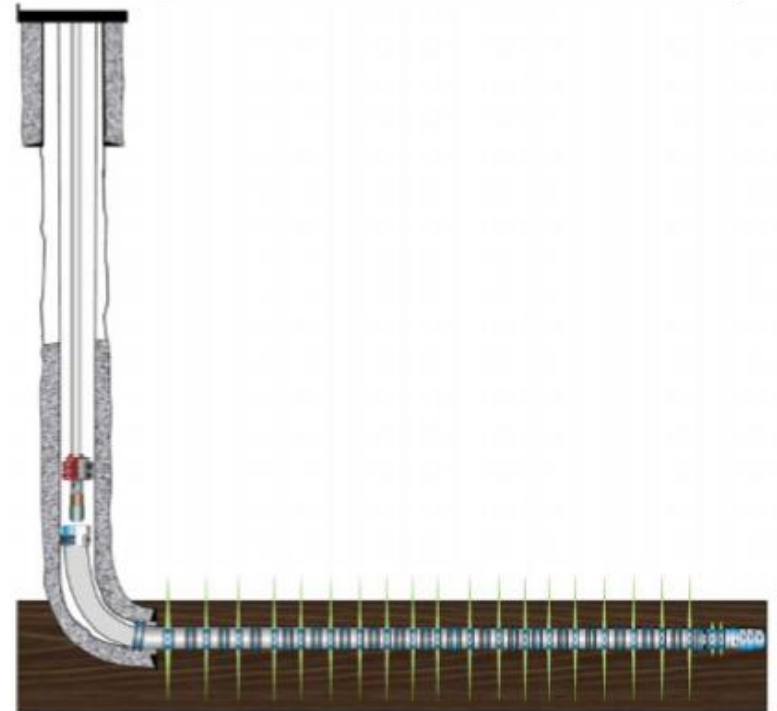
Bakken Shale: Características del Reservorio

- Reservoir Age: Mississippian
- Depth: 10,500'
- Rock Type: Shale, Siltstone, Limestone, Dolomite
- Pressure Gradient: Up to 0.74 psi/ft
- Oil Gravity: 40 to 44 API° (B_o : 1.2 - 1.4)
- Porosity ⁽¹⁾: 4.9 - 7.06%
- Water Saturation ⁽¹⁾: 28 - 30%



Bakken Shale: Diseño de Pozo Horizontal

- 9 5/8" Surface Casing set at 2,500'
- KOP at 10,000'
- Openhole wireline logs run to evaluate Mission Canyon
- 8 3/4" hole landed in Middle Bakken
- Set and cement 7" casing
- 6" hole drilled for 10,000' lateral
- 4 1/2" liner with packers and ports
- Multi-stage (15 -25) frac treatments
 - Treatment for first 3,500' of lateral
 - 20/40 ISP placed w/ modified hybrid design (20 to 35 BPM)
 - Fluid and proppant targets of 175 - 225 gal/ft and 135-180 lbs/ft
 - Treatment for the remaining portion of the lateral
 - 30/50 ISP placed w/ multi sweep slickwater design (40 to 50 BPM)
 - 240-340 gal/ft & 115-160 lbs/ft
 - Maximized breaker: polymer ratio on fluids pumped
 - Central frac pits sourced by city water and natural reservoirs

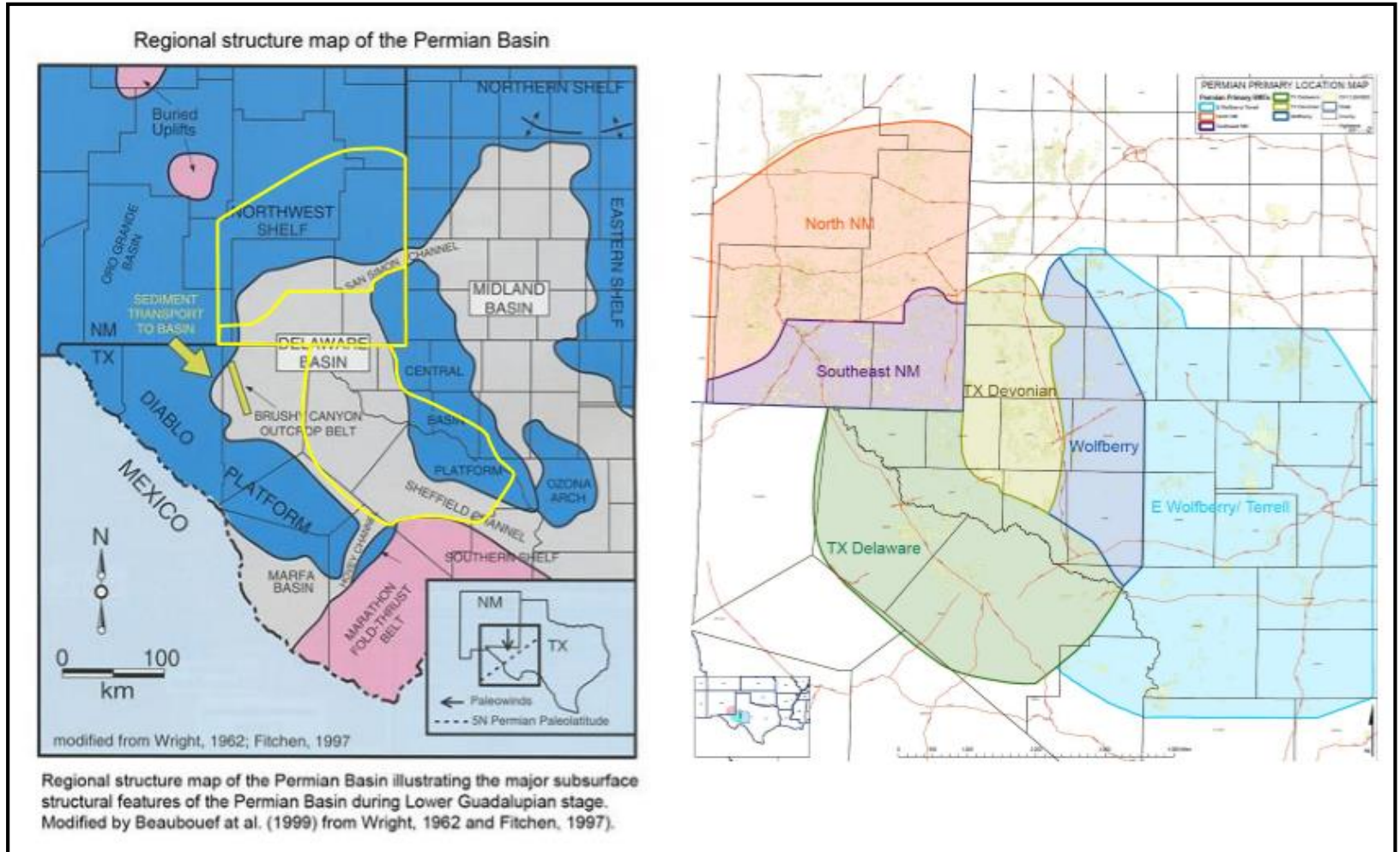


Permian Basin (Delaware & Midland): Resúmen

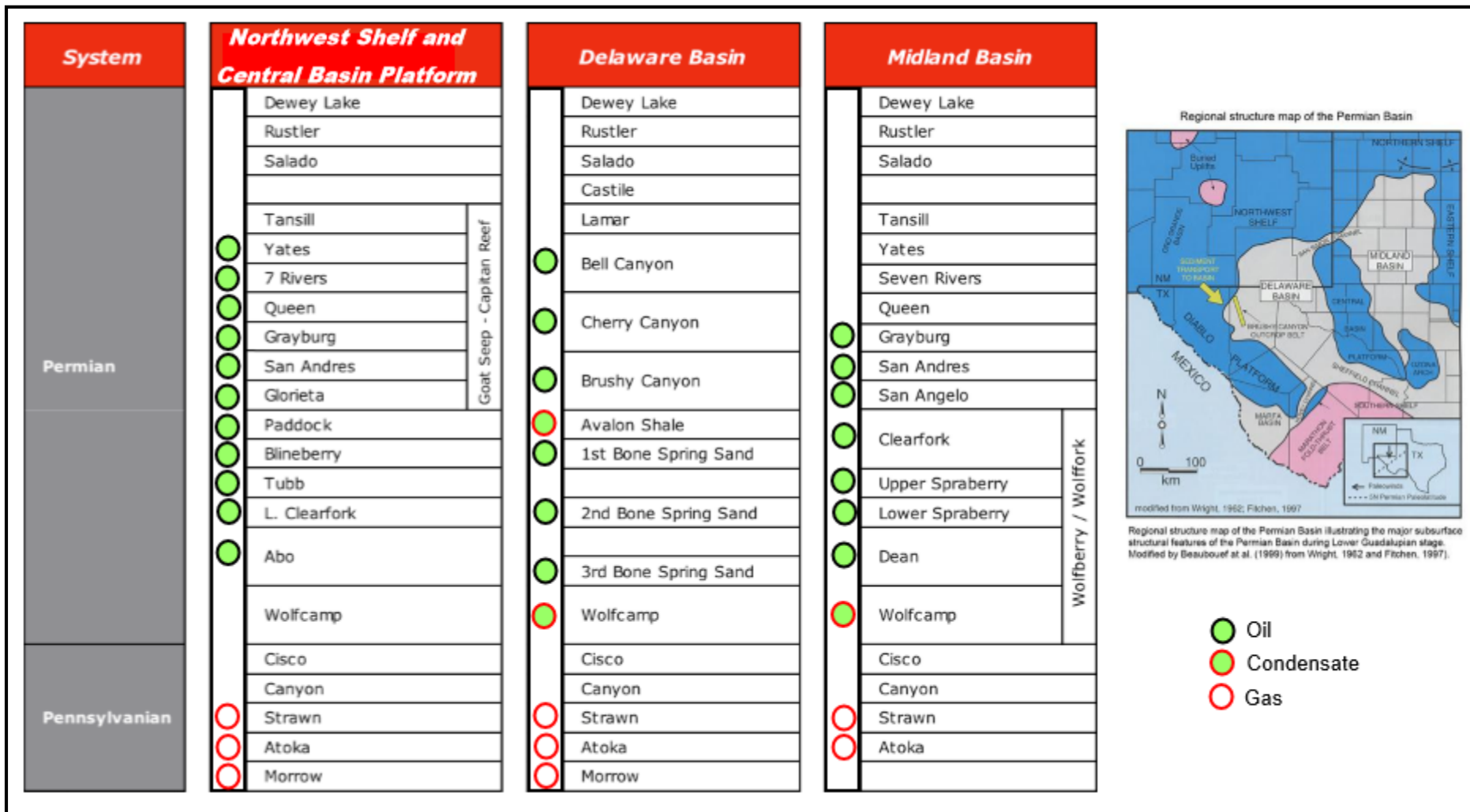
- Los principales reservorios son Avalon o Clear Fork (siltstone & chert), Bone Spring o Spraberry (siltstone, shale, tight sandstone), Wolfcamp (carbonates, siltstone, shale, turbidites)
- Ubicación: Texas y New Mexico
- Area: 220,000 Km²
- Reservas de aproximadamente 20 Billones de barriles de petróleo
- Producción actual promedio es de 3.9 millones de barriles por día.
- Sección Horizontal: entre 4,500 a 8,000 pies.
- TD entre 16,000 a 18,000 pies.
- Perforación: 30-40 días;
- Completación: 15-25 días
- Costo Perforación: ~ 4.2 MM USD
- Costo Completación: ~ 4.1 MM USD



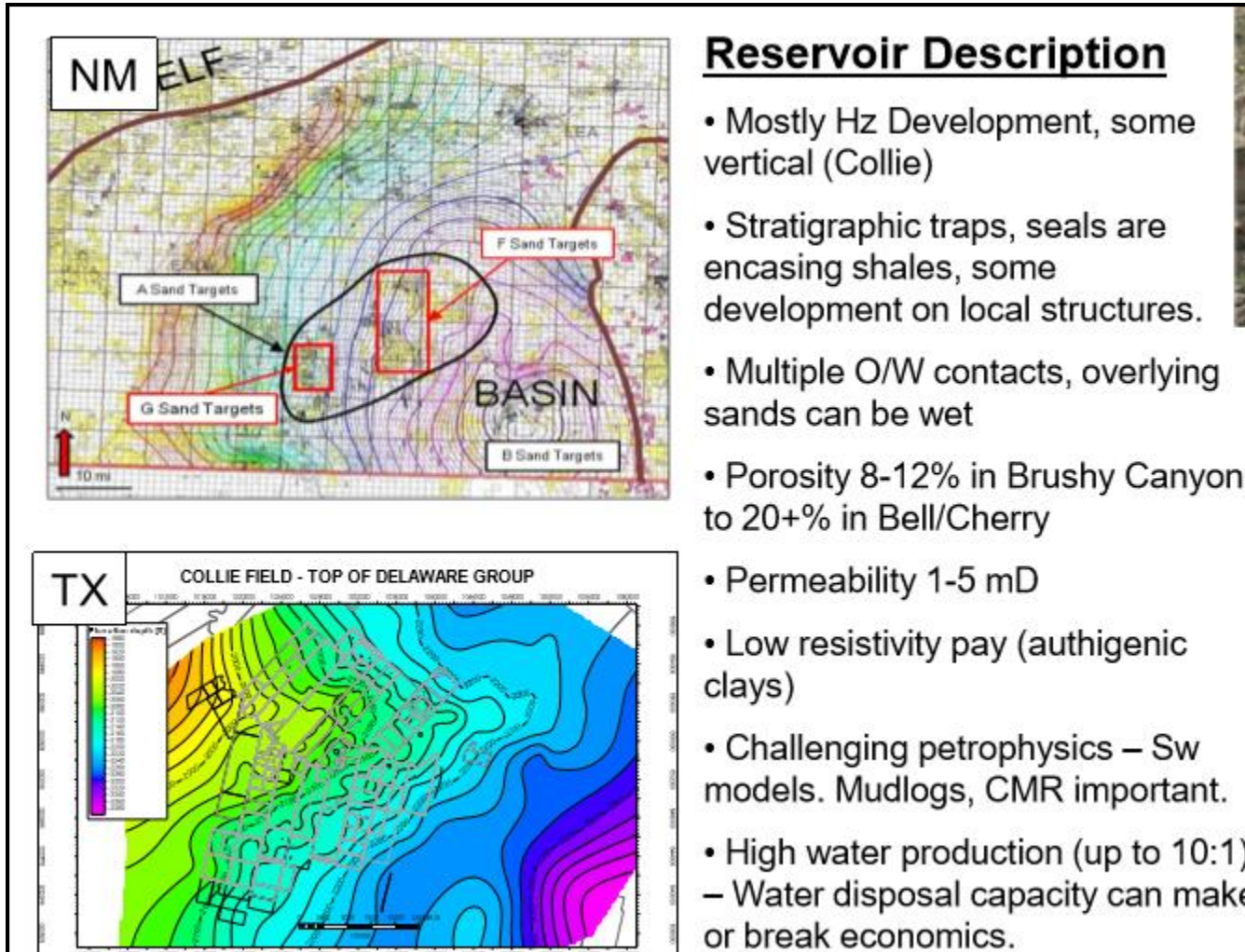
Permian Basin: Mapa de Ubicación



Permian Basin: Estratigrafía



Permian Basin: Delaware Geology

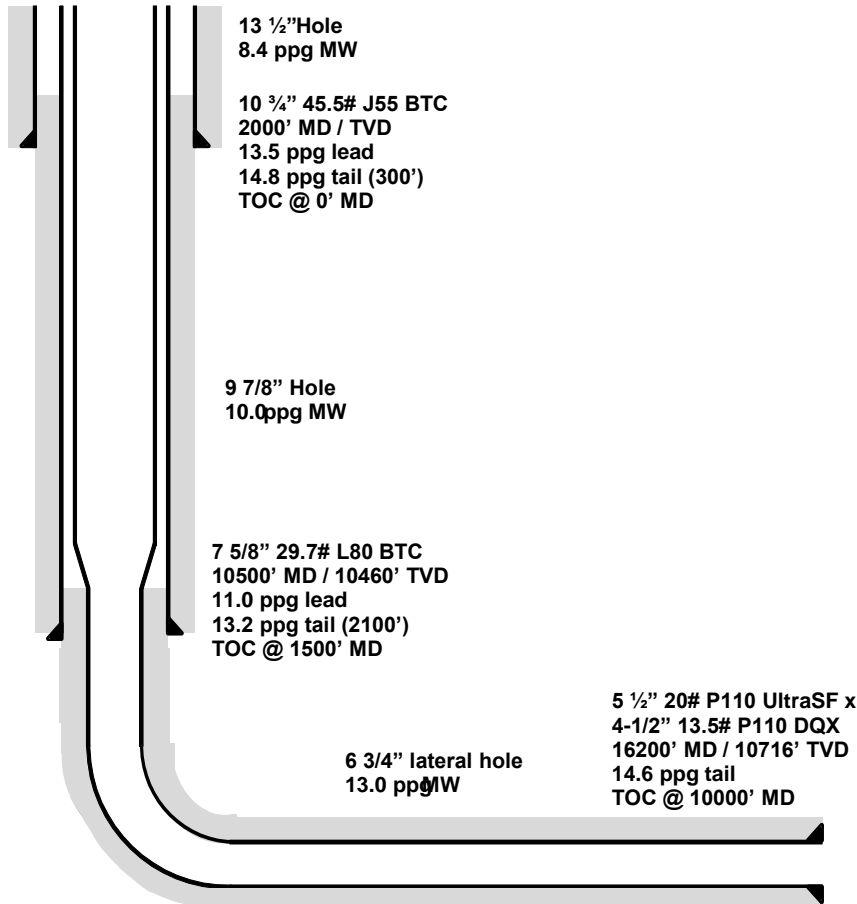


Reservoir Description

- Mostly Hz Development, some vertical (Collie)
- Stratigraphic traps, seals are encasing shales, some development on local structures.
- Multiple O/W contacts, overlying sands can be wet
- Porosity 8-12% in Brushy Canyon to 20+% in Bell/Cherry
- Permeability 1-5 mD
- Low resistivity pay (authigenic clays)
- Challenging petrophysics – Sw models. Mudlogs, CMR important.
- High water production (up to 10:1)
– Water disposal capacity can make or break economics.



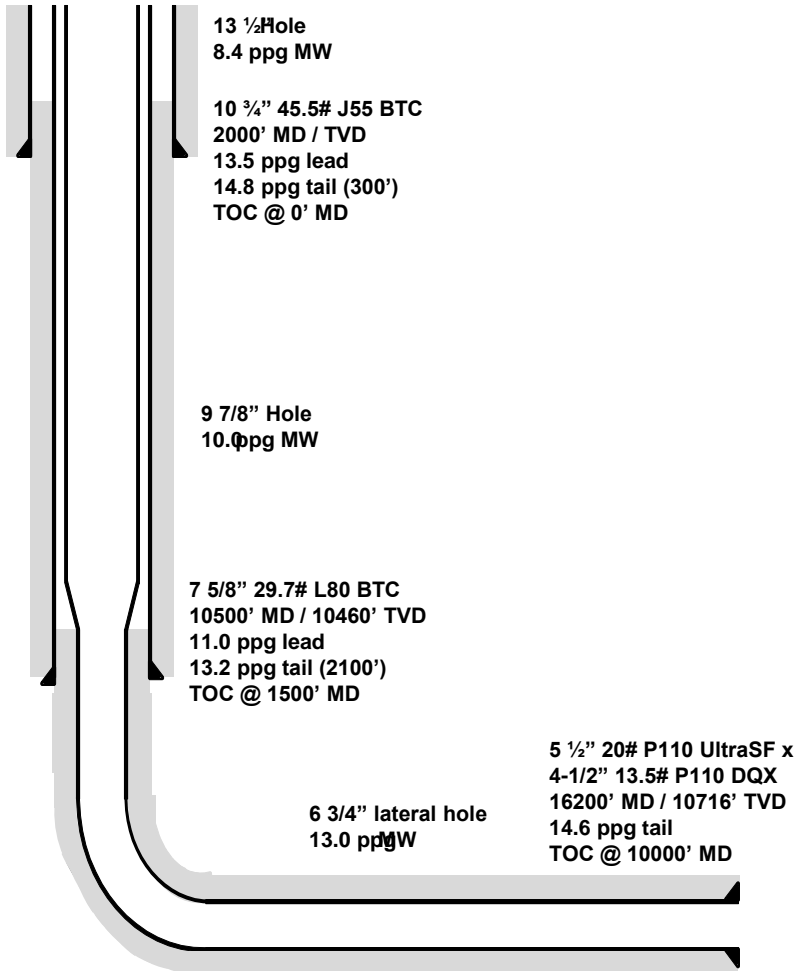
Cuenca Pérmica – Diseño de Pozo – Campo Mentone



- **Wells:** Mentone Wolfcamp A Wells
- **Hole Sections**
 - Surface / Intermediate / Production
- **Mud Systems**
 - Freshwater / Saturated Brine – Cut Brine / Oil Based Mud
- **Casing Design**
 - **Conductor** – Set at 100' to cover unconsolidated formations.
 - **Surface** – Set at 2000' to isolate useable water.
 - Hole Size: 13-1/2"
 - Casing: 10-3/4"
 - **Intermediate** – Set at 10500' to isolate the salt section and the Delaware.
 - Hole Size: 9-7/8"
 - Casing: 7 5/8"
 - **Production** – Set at ±16075' MD / ±10740' TVD Across reservoir (long string to surface)
 - Hole Size: 6-3/4"
 - Casing: 5 1/2" 20# P110 Ultra SF x 4-1/2" 13.5# P-110 DQX



Cuenca Pérmica – Completación – Campo Mentone



| Stimulation | |
|-----------------|-----------------|
| Lateral Length | 4800' |
| Casing Size | 5.5" |
| Rates | 80 - 90 bpm |
| Pressures | 7000 - 8000 psi |
| Stages | 18-24 |
| Stage spacing | 95 ft |
| Cluster spacing | 65 - 95 ft |
| # of Perfs | 60 |
| # Clusters | 3 |



Posibles Reservorios No Convencionales en el Perú

Cuenca Lancones (Noroeste):

- **Formación Muerto**
- Litología: Caliza y Lutita; Roca Madre de la vecina prolífica Cuenca de Talara.
- Ambiente: Depósitos marinos de Plataforma y Talud de Shale Gas Unconventional Deposits.
- Fuente: First Unconventional Play From Peruvian Northwest: Muerto Formation UrTec 2018 por W. Morales, J. Porlles, J. Rodriguez, H. Taipe, A. Arguedas

Cuencas Ucayali, Marañón y Ene

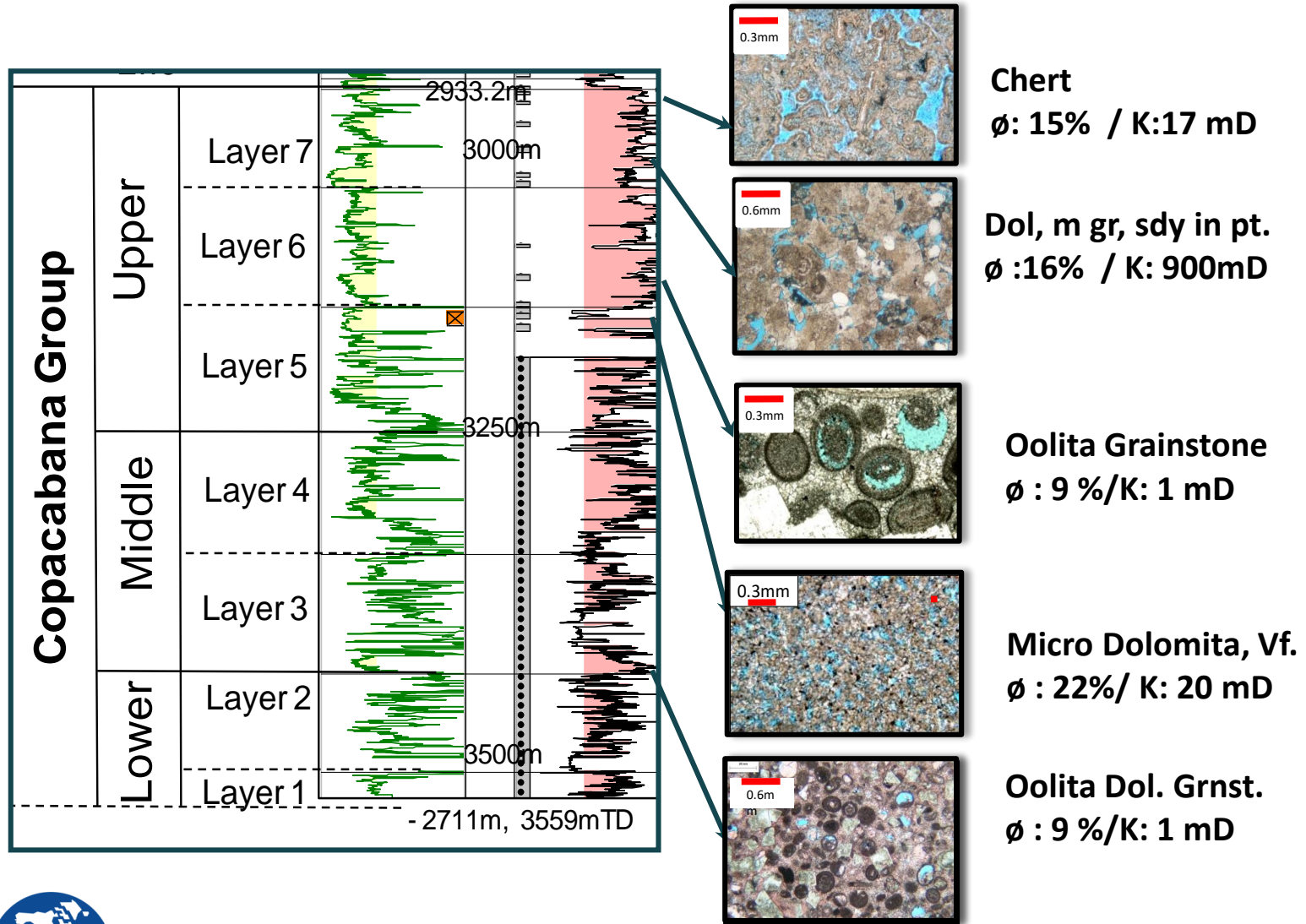
- Grupo Copacabana, Ambo?
- Litologías: Calizas, Dolomitas, Lutitas, Margas

Cuenca Madre de Dios

- Formación Cabanillas?
- Litología: Lutita



Facies Tipo - Grupo Copacabana



Conclusiones



Society of Petroleum Engineers
Lima Section

Conclusiones (1)

- La perforación horizontal en Reservorios No Convencionales ha probado ser económicamente posible para producir petróleo y gas de rocas “madre”, cuya tecnología fue desarrollada como alternativa a la declinación de los Reservorios Convencionales.
- Las principales condiciones para producir un Reservoirio No Convencional son Alta Madurez de la roca, Espesor del Reservoirio, Cantidad y Calidad del Kerógeno, distribución de la arcilla.
- La Geonavegación en los pozos horizontales es la mejor técnica para poder exponer mayor longitud de reservoirio. Esta técnica es una parte crítica en la perforación de un pozo en reservoirios no convencionales. Determinará la buena productividad del pozo desde un unto de vista de producción y si es efectuado muy lentamente afectará el costo de perforación del pozo.
- La técnica para perforar pozos horizontales en reservoirios convencionales y no convencionales es la misma desde el punto de vista de perforación y geonavegación. La gran diferencia está en la completación.



Conclusiones (2)

- Una buena Planificación y Comunicación Multidisciplinaria es la clave para cumplir los objetivos del pozo, que es terminar el pozo en la profundidad y longitud propuesta, y completar el pozo en forma exitosa.
- La completación de los pozos horizontales en Reservorios No Convencionales se hace básicamente for Fracturación Hidráulica con resultados exitosos.
- Según el Departamento de Manejo de Tierras (Bureau of Land Management) los Estados Unidos de América tienen los más grandes depósitos de **Oil Shale** en el Mundo. Tienen aproximadamente un estimado de 2.175 trillones de barriles de petróleo recuperable.
- Existen más de 900,000 pozos de petróleo y gas activos en los Estados Unidos de América y mas de 130,000 se **han perforado** desde el 2010.
- El costo por barril en USA es de aproximadamente entre \$30-50 en reservorios no convencionales. En Arabia Saudita el costo por barril es de \$4-12 en reservorios convencionales. En el resto del Mundo el costo es de \$30-40 por barril.



Muchas Gracias !!!



Lima Section

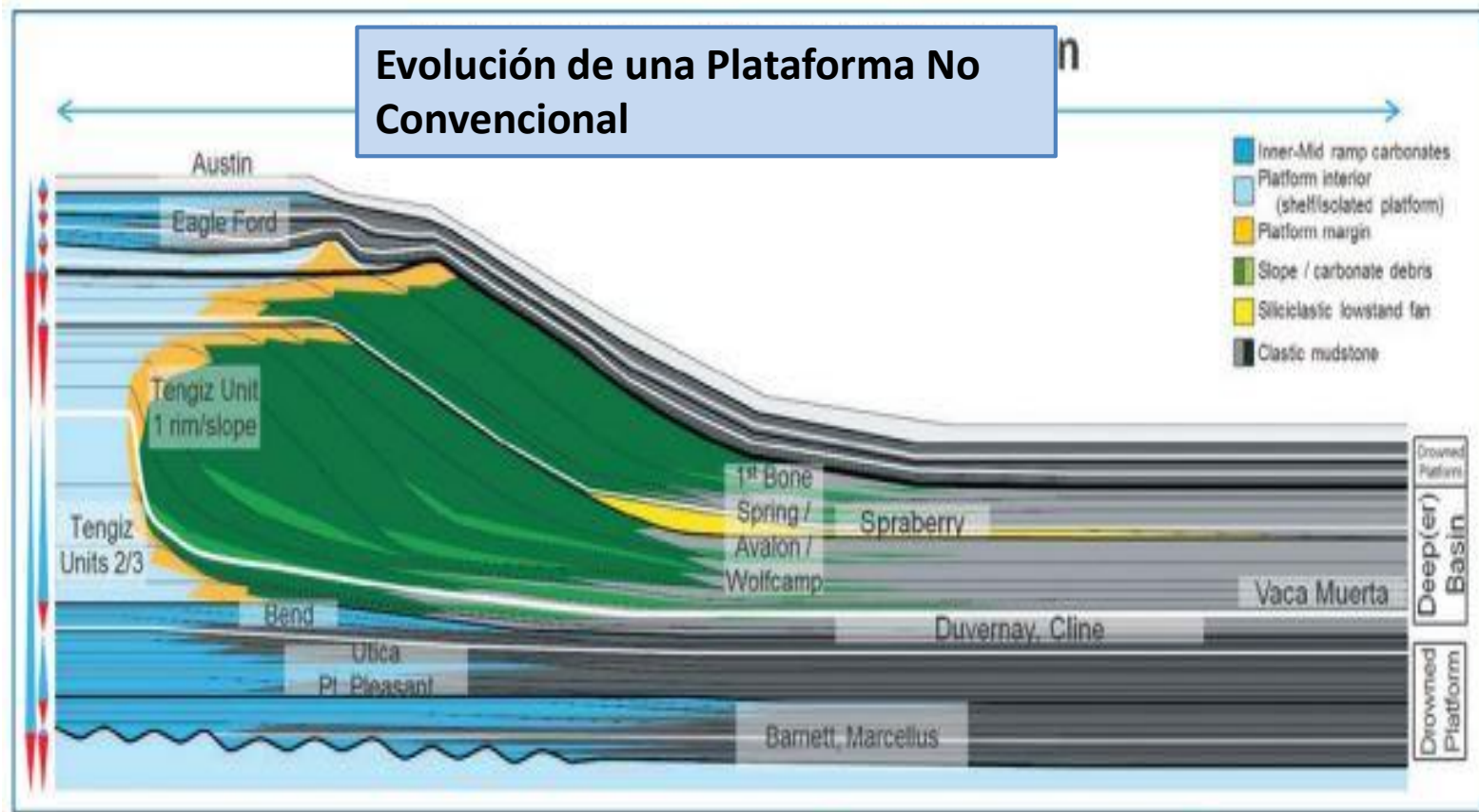


Lima Section

Diapositivas Adicionales



Reservorios No Convencionales



Los Reservorios No Convencionales pueden ocurrir en la evolución de una plataforma, desde la rampa hasta el borde de plataforma.

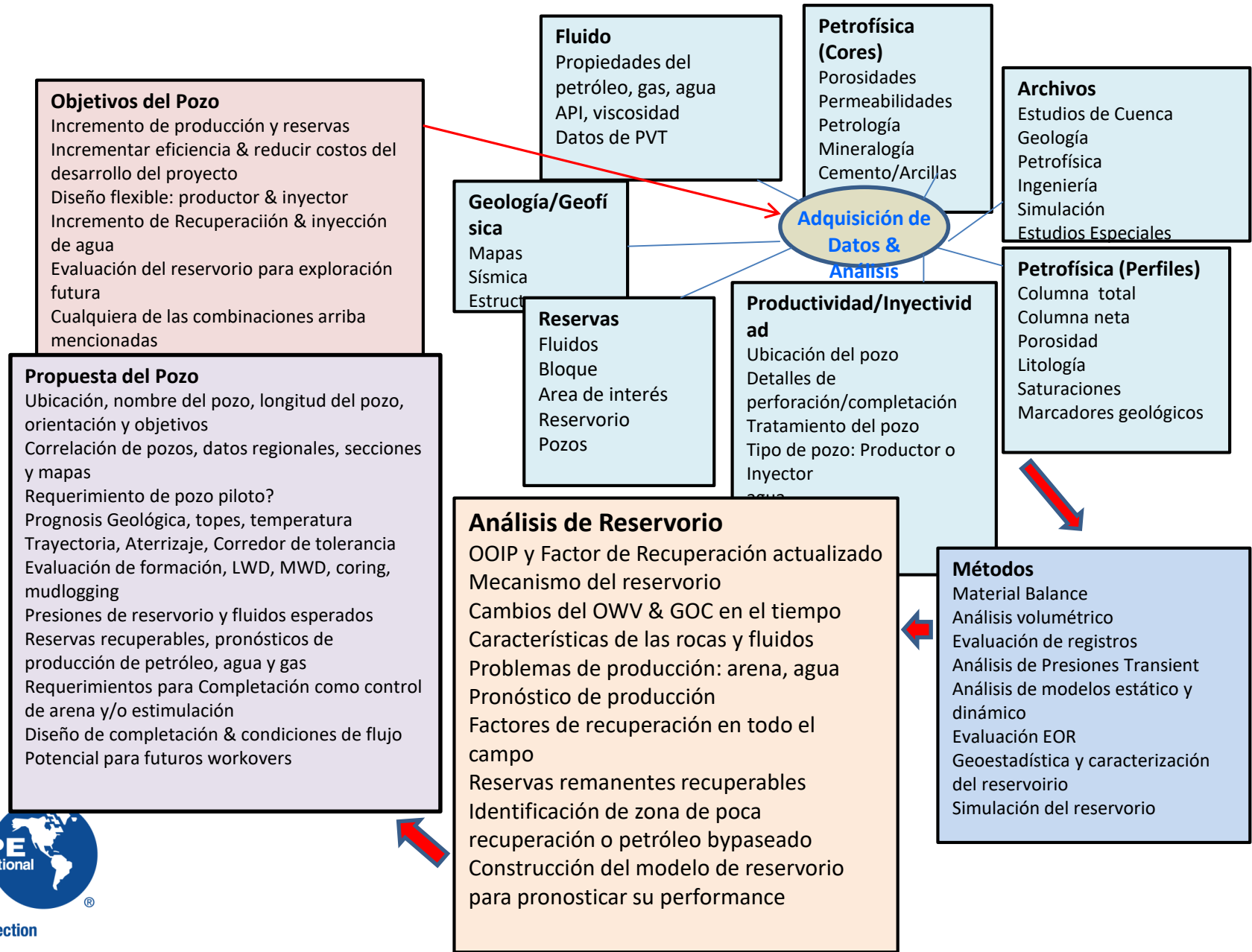
Calidades de Roca en Colombia y Norteamérica

| Averages | La Luna VMM | La Luna Fm Catatumbo | Llanos Gacheta | Middle Wolfcamp | Lower Eagle Ford | Fayetteville |
|---|---|--|--|--------------------|---------------------|--------------|
| Depth Range (ft) Core Samples | 2742- 12405 | 4057- 8310 | 5928- 10876 | 5600- 11000 | 3800- 13000 | 2100-7700 |
| Porosity (%) | 6.3 | 4.8 | 5.1 | 6.4 | 7.3 | 4.3 |
| Organic porosity (% of Total Porosity) | 47% | 71% | 51% | 60% | 67% | 80% |
| Solid Organic Material (vol %) | 7.7 | 8.1 | 4.7 | 7.0 | 5.2 | 9.6 |
| Porosity in Organic Material | 29% | 20% | 27% | 22% | 39% | 23% |
| Permeability (K_horizontal) | 920 | 733 | 982 | 200 | 730 | 120 |
| Maturity (Ro), Kerogen Type | 0.6 – 1.0 (Increasing to south & east) Type II | 0.6 – 2.0 (Increasing to south) Type II | 0.5 – 0.8 (Increasing to west) Type III | 0.7-1.0 | 0.8 to 1.6 | 1.2-1.5 |
| Likely Hydrocarbon Type | Mostly Oil | Mostly condensate | Condensate to gas | Oil to condensate | Oil to dry gas | Dry gas |

Comparación de la calidad de roca entre la Formación Gacheta en la Cuenca Los Llanos , la Formación La Luna en el Valle del Magdalena, y la Cuenca de Catatumbo con los campos No Convencionales de Norteamérica.



Proceso técnico de Planeamiento de un Pozo



PLANIFICACION Y EJECUCION DEL POZO

EVALUACION DEL PROYECTO

MULTIDISCIPLINAS (Geología, Reservorios, Perforación, Producción, Construcción)

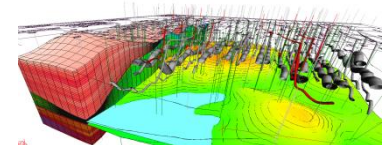
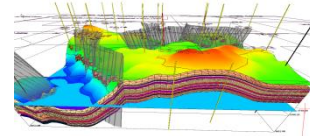
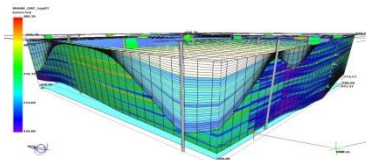
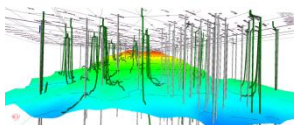
Objetivos, Opciones de Perforación (pozo nuevo, recuperación de un slot, re-perforación), Plan Direccional Preliminar, Riesgos Geológicos y Operativos, Incertidumbres (fallas, topes, fracturas, etc), Int. Sísmica, Perfilaje, Estimulación, Flujos de Producción estimados, Reservas, Instalaciones de Campo, Costos, Aprobación Preliminar del Proyecto.

PROCESO

Ajuste del Modelo Geológico (Petrel), Modelo de Reservorio, Plan Direccional Final, Riesgos Geológicos y Operativos esperados, Plan de Perfilaje, Geonavegación/ Transmisión Real Time, Plan de Completación del Pozo (Perforaciones y Bombas ESP), Programa Final del Pozo, Aprobación Final del Pozo.

EJECUCION

- Reunión Pre-Perforación (Pre Spud Meeting)
- Reportes Diarios Geológico y de Perforación MWD
- Perfiles Eléctricos (LWD)
- Geonavegación
- Completación



OPERACIONES DE GEONAVEGACION DURANTE LA PERFORACION



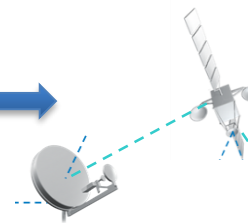
Oficina

Geólogo de Proyecto,
Geólogo de Operaciones,
Geofísico, Gerencia de
Desarrollo, Ingeniero de
Perforación



Campo

Geólogos de Pozo (Geosteers),
Ingeniero Direccional (DD's),
Mudloggers and other



**Compañía de
Servicios**

**Datos en el
Rig**

(MWD & LWD)

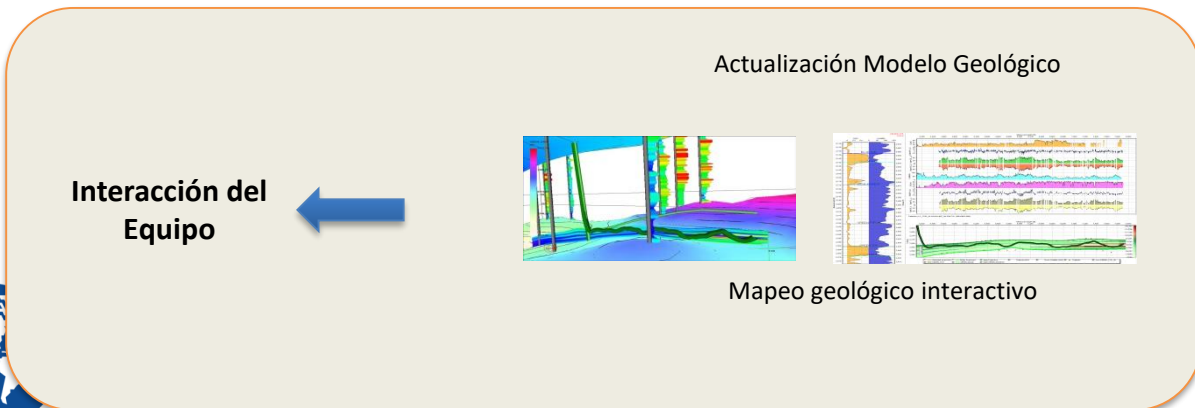
LWD (GR, Res, Por),
Gas, Cuttings



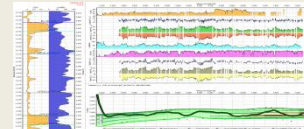
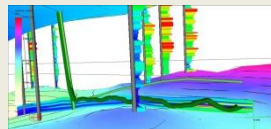
Transmisión de
datos en Tiempo
Real (Compañía de
Servicios)



Proceso de Geonavegación



Actualización Modelo Geológico



Mapeo geológico interactivo

Interacción del
Equipo



Hitos de la perforación direccional y horizontal

- 1929 Primer pozo horizontal documentado cerca a la ciudad de Tejón, Texas
- 1944 Pozo horizontal a 500 pies en el Campo Franklin (Petróleo pesado), Pensilvania
- 1947 Primeros pozos direccionales perforados mar adentro (Golfo de México),
- 1953 Primer pozo multilateral verdadero – 9 laterales en carbonatos (Campo Bashkiria-Rusia).
- 1954 Primer Arreglo de Fondo (BHA) Direccional.
- 1971 Broca de Diamante Compacta Policristalina (PDC) & uso de computadoras que con parámetros de perforación y datos geológicos.
- 1978 Primer Sistema de Medidas (MWD) (Mud Pulsed).
- 1981 Primer Pozo horizontal mar adentro (Campo Rospo Mare, Italia).
- 1983 Pozos horizontales perforados desde Equipos Verticales (Kern River, CA)
- 1984 Primer Sistema de Perforación con Rotación propia (Steerable) - Herramientas nuevas de Resistividad.



Hitos de la perforación direccional (cont.)

- 1987 Primera herramienta de Registro Eléctrico durante la Perforación (LWD).
- 1988 Herramientas direccionales que perforan pozos que exceden los 60 grados de radio de curvatura. Primer pozo perforado desde un Equipo Semi-sumergible.
- 1990 Pozo horizontal alcanza 14,585 pies (4445 metros).
- 1991 Pozo direccional perforado con “coiled tubing” alcanza los 15,000 pies (4572 metros).
- 1992 Pozo horizontal en Diámetro Reducido “Slim-hole” alcanza 801 pies (244 metros) con diámetro de 3 3/8”.
- 1997 Pozo horizontal extendido alcanza 26,450 pies (8,062 metros) en el Mar del Sur de China.
- 2013 Pozo horizontal extendido alcanza 12,700 metros en Sakhalin, Rusia.



Perforación de un Pozo Horizontal

Sección Intermedia (Build Up Section o Curve)

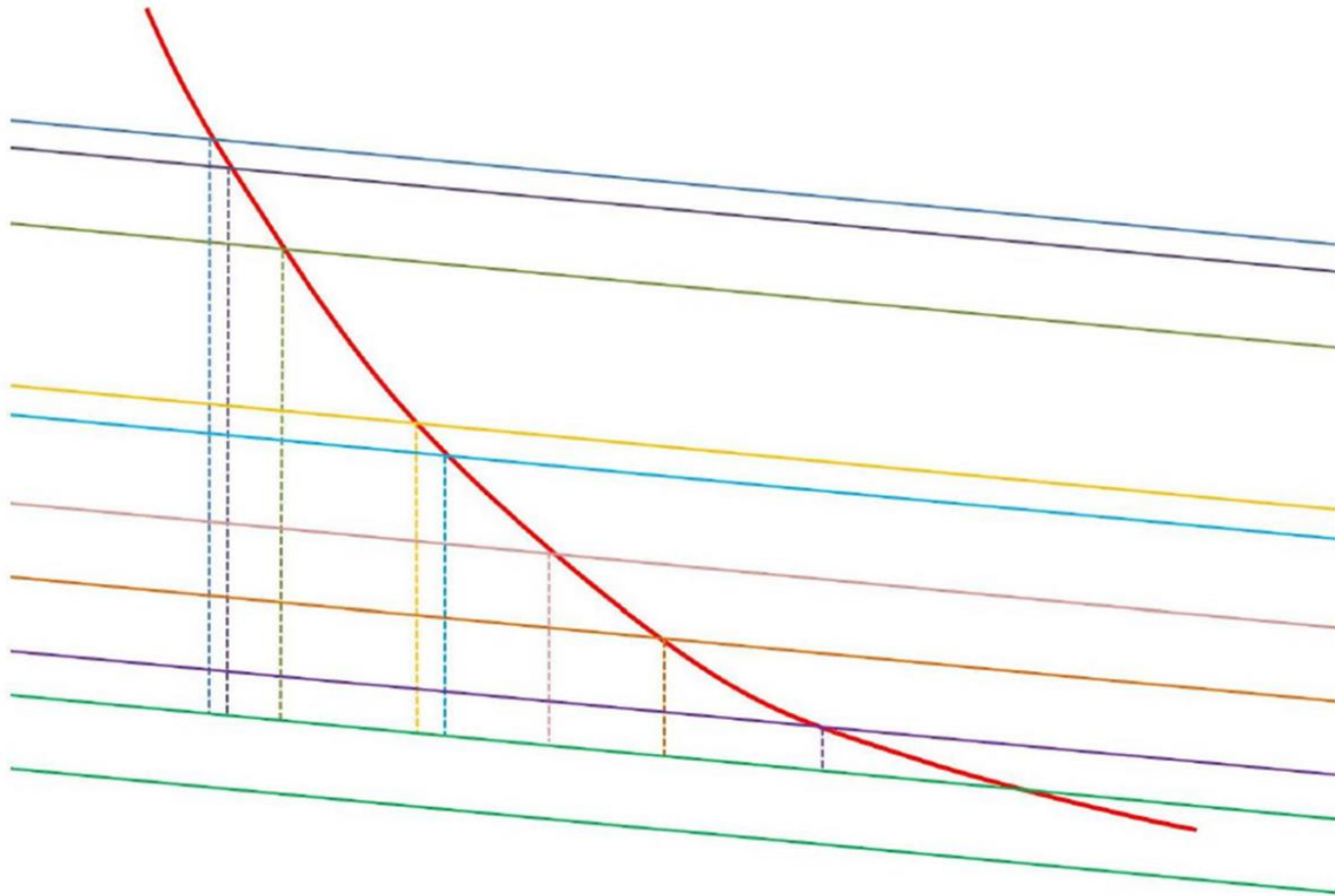
- Control Geológico
- Correlación (marcadores geológicos)
- Aterrizaje

Sección Horizontal (Geonavegación)

- Control Geológico
- Tipo de Geonavegación adecuado al tipo de reservorio



Sección Intermedia (Build Up Section o Curve)

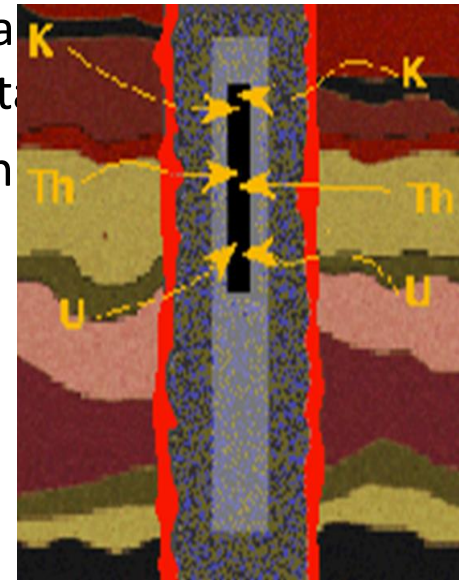


Build-up section: importante para el adecuado punto de entrada en la formación objetivo., tanto en inclinación como en azimut. Llevar una adecuada correlación de los marcadores geológicos relevantes y sus espesores.



Gamma Ray - Teoría

- Las herramientas de Gamma Ray son detectores “pasivos” de Rayos Gamma
 - Los sensores Gamma no emiten ningún tipo de radiación.
- El objetivo del Gamma Ray es medir los rayos gamma naturales emitidos por una formación
 - Los sensores Gamma se deben ubicar lo más a las cercanías de las fuentes radiactivas para que no se vean afectados por la atenuación de los rayos gamma.
- Los tres isótopos más comunes que se emiten en las formaciones son:
 - Potasio-40 (K)
 - Torio-232 (Th)
 - Uranio-238 (U)
- Altas lecturas de Gamma Ray indican alta concentración de material radioactivo.



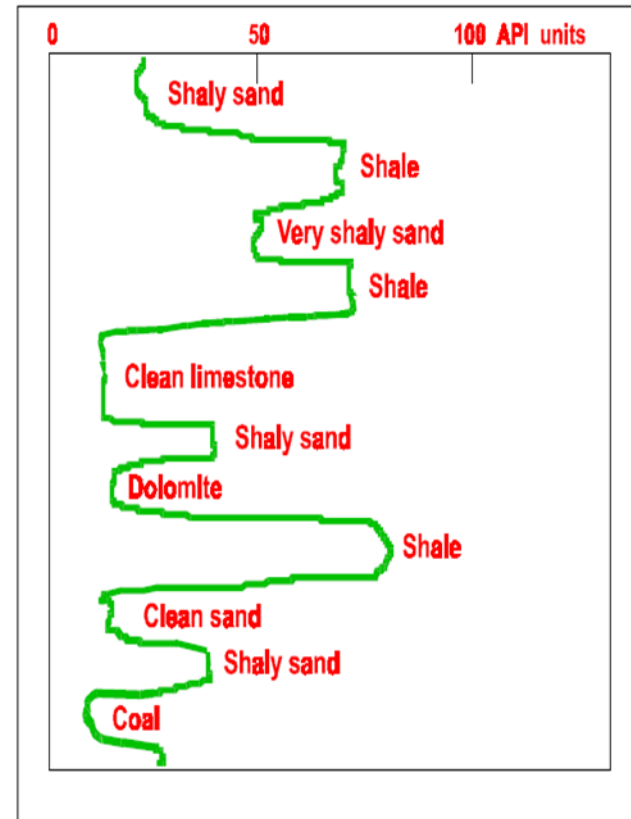
Teoria del Gamma Ray

- El Gamma Ray nos indica los cambios en la litología
 - Cambios en las concentraciones de Potasio, Torio y Uranio
- El Gamma Ray NO revela contenido de fluido (i.e. gas, petróleo o agua)
 - El agua, petróleo y gas no producen ninguna radiación gamma.
- Puede ser corrido en cualquier ambiente - aire, cualquier tipo de lodo, lodos a base de petróleo, en hoyo abierto o en hoyo entubado.
- La medida de Gamma natural es usada para estimar el contenido de arcilla de las rocas sedimentarias.
- Las herramientas de Gamma son pasivas, no emiten radiación.



Gamma Ray - Principios de la Medición y Teoría

- El Log siguiente muestra la respuesta del Gamma Ray por tipo de formación. Los niveles de gamma ray pueden variar de pozo a pozo pero en general nos indican la variación para diferenciar areniscas (o litologías sin arcillas) de arcillas.



Geonavegación – Geólogo de Operaciones

- Liderar las discusiones del plan de geonavegación con el Equipo de Reservorio, Equipo de Perforación y compañías de servicios.
- Dar su recomendación en la selección de la compañía de geonavegación para trabajos específicos.
- Preparar el Plan de Geonavegación y discutirla con el Equipo de Geología.
- Supervisar el trabajo de geonavegación y hacer las recomendaciones en tiempo real ajustando la trayectoria para seguir adecuadamente el reservorio, informando al Equipo de Reservorio y Perforación en todo momento.'
- Revisar el Reporte Final preparado por el Ingeniero de Navegación de cada turno y el del Final de Pozo.



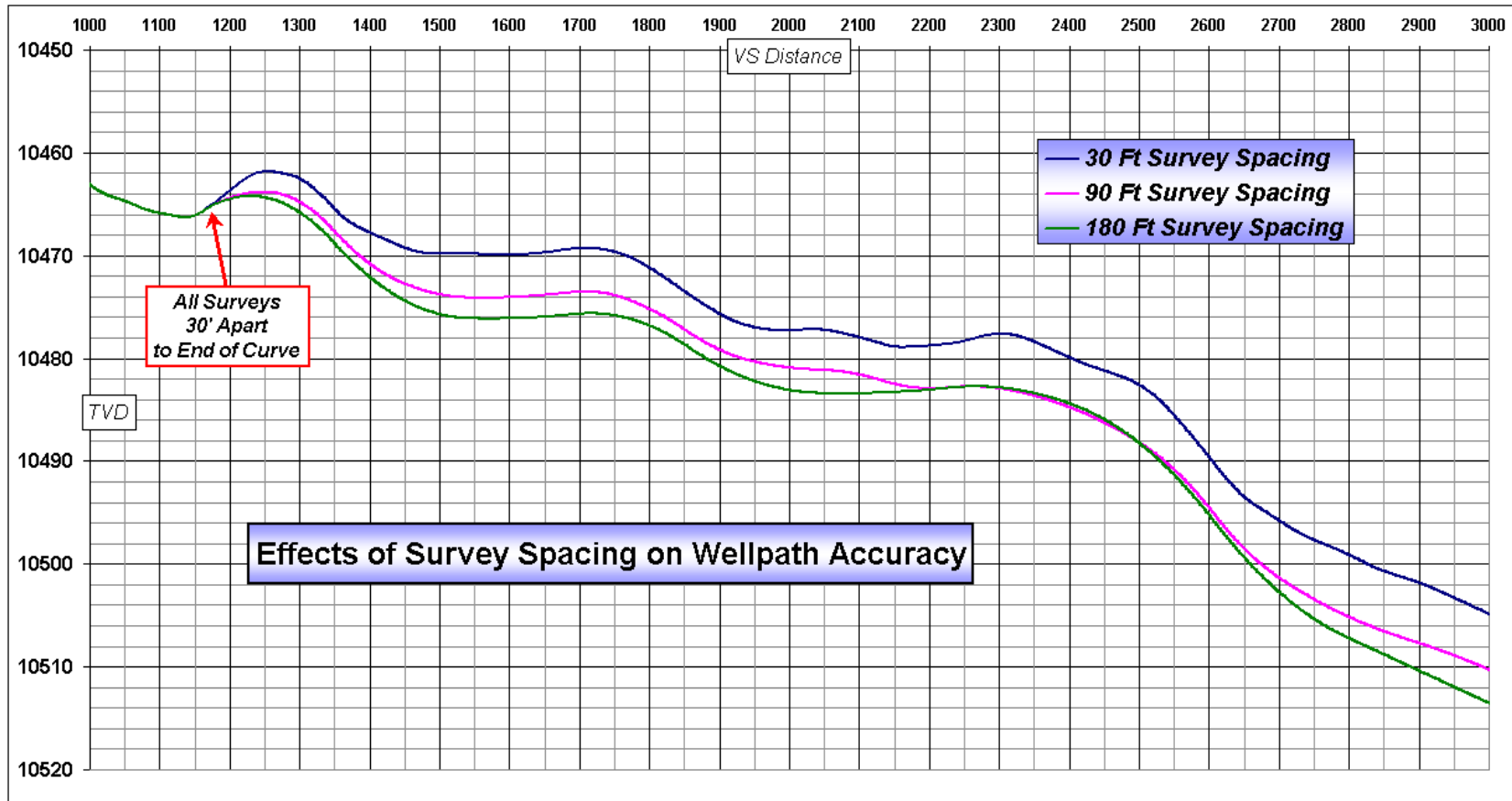
Sección Horizontal (Geonavegación)

- Existen tres métodos principales para geonavegar:
 1. Mediciones directas (LWD)
Se usan herramientas convencionales no azimutales también llamada Estratigráfica
 2. Modelo Geológico en 3D
Se usan herramientas azimutales con imágenes
 3. Inversión o método de detección remota de los límites formacionales
Se usan herramientas de detección remota



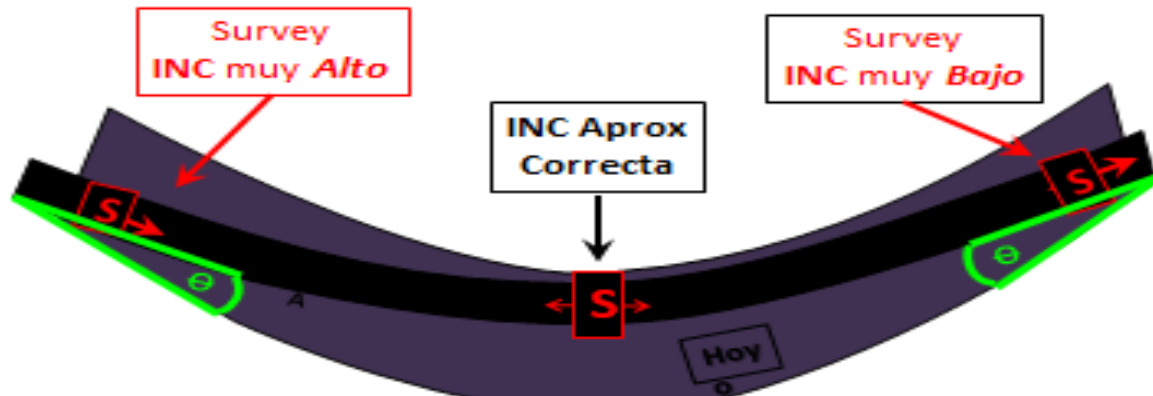
Limitaciones y Riesgos Potenciales– *SURVEYS*

“Espaciamiento Medio de los Surveys”



Incertidumbre Posicional

Posición del Survey versus la influencia de poca a mediana de la caída ... ~ en décimas de grado...



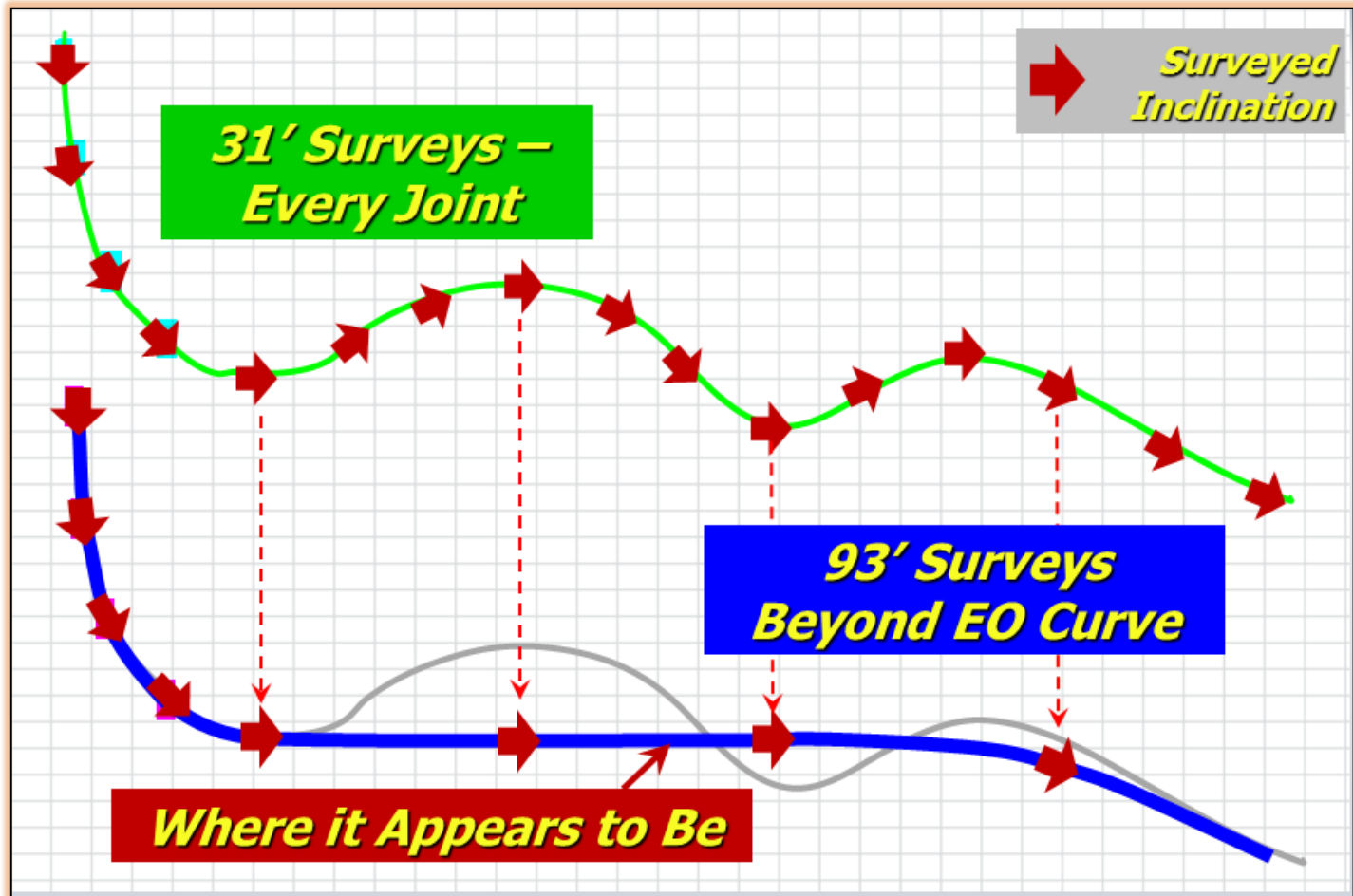
El BHA Tiende a “Extenderse” a lo largo del hoyo aplanado

Elimina el Máximo & Mínimo Rango de TVD

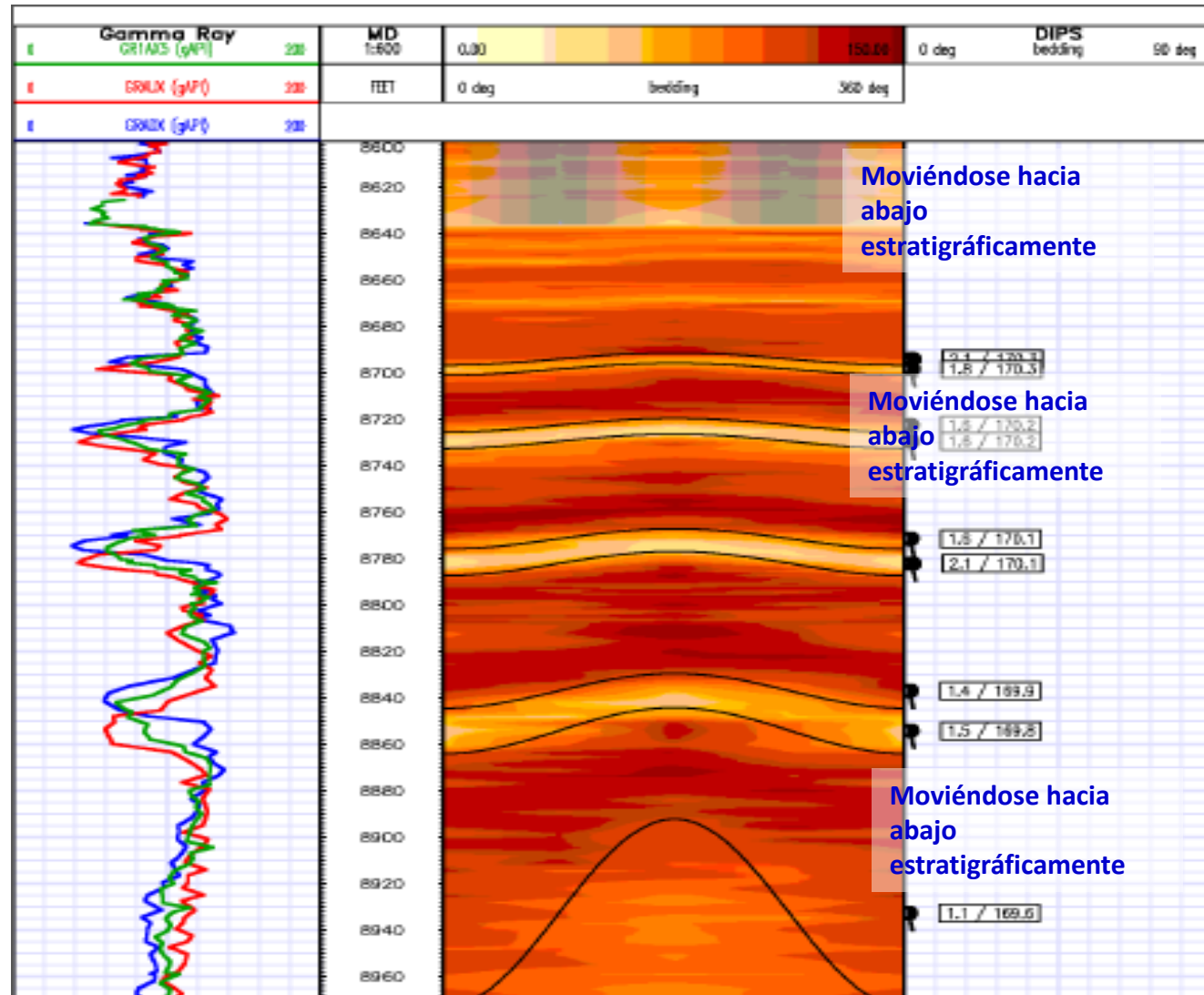
Se tiende a reportar un DLS menor al Real



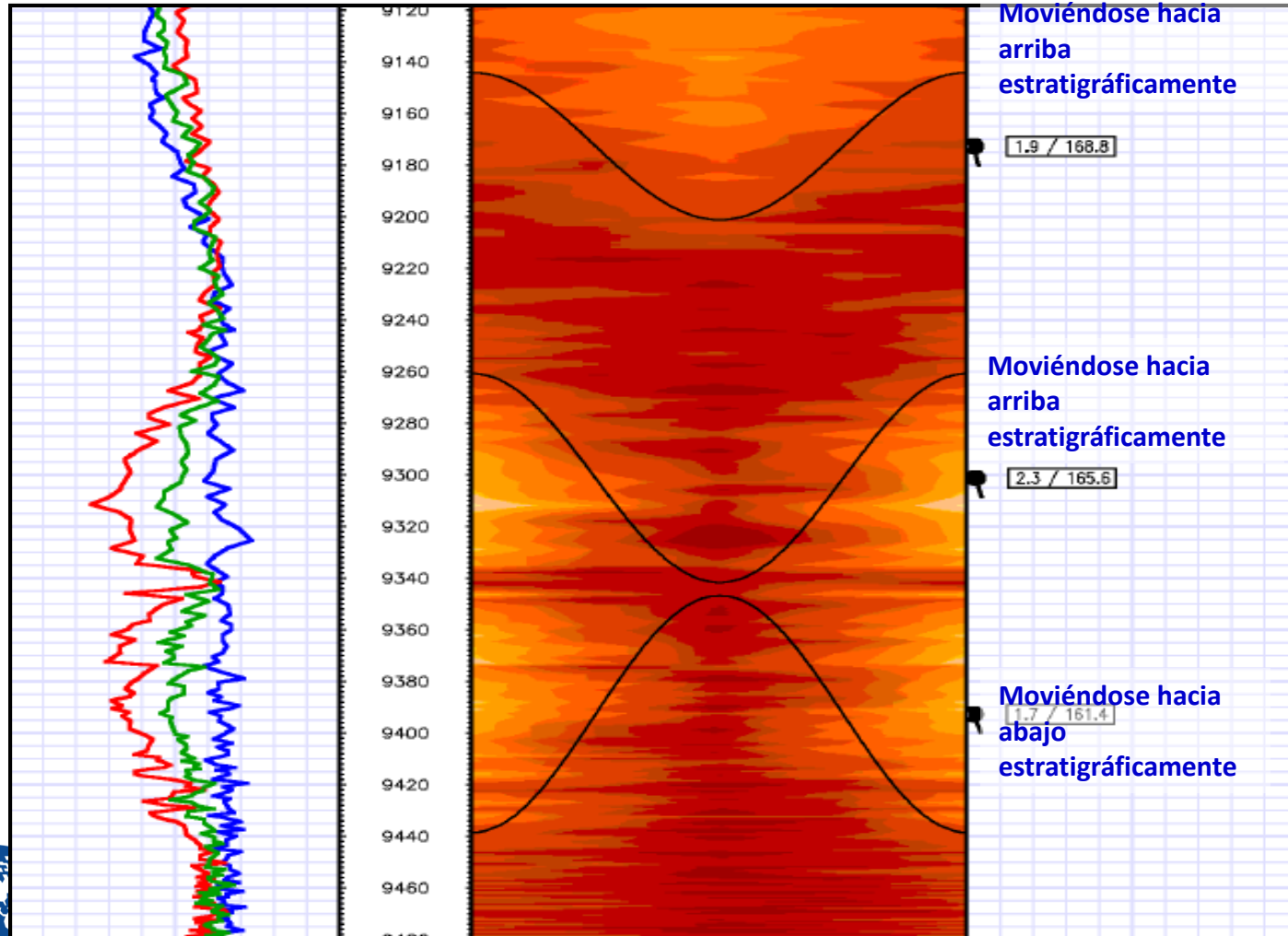
TVD & Buzamiento basado en la Posicion de la Trayectoria del Pozo



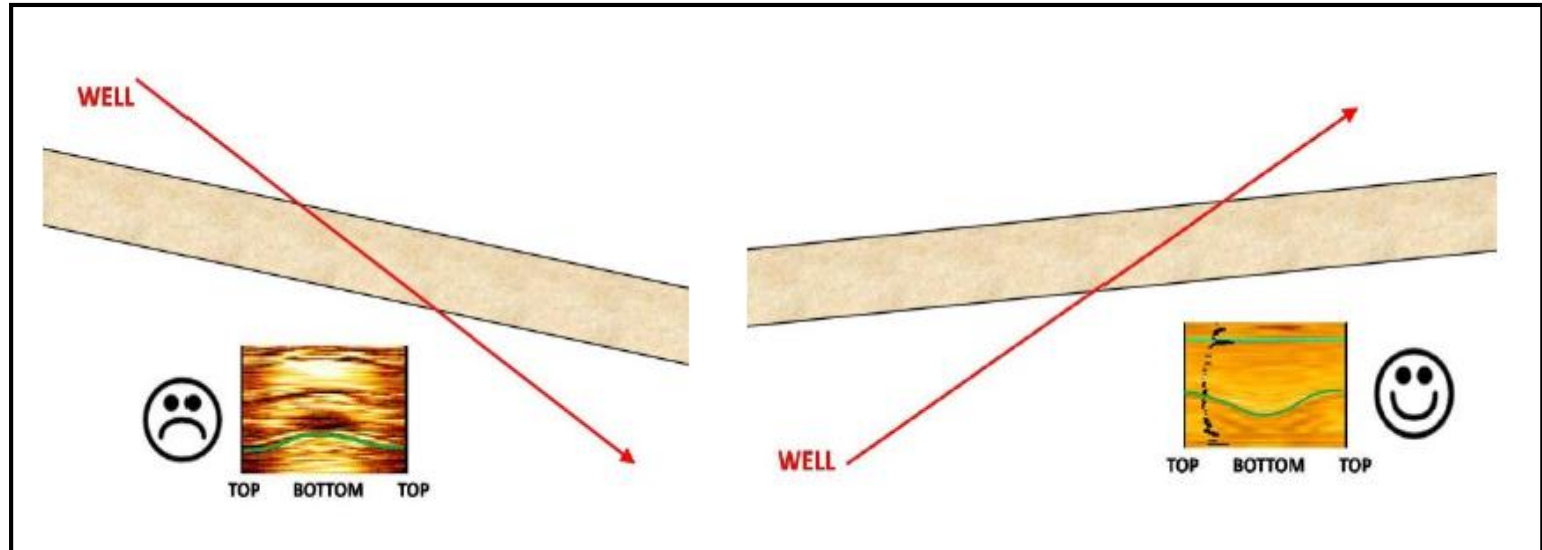
Imágenes de GR y Buzamientos de las capas – Muy consistente y crítico para un Confiable Modelo Geológico Actualizado



Imágenes de GR y Buzamientos de las capas – Muy consistente y crítico para un Confiable Modelo Geológico Actualizado



Imágenes de Geonavegación



Las imágenes de los perfiles son usadas para determinar si el pozo está perforando estratigráficamente hacia abajo (cara triste) o hacia arriba.(cara feliz).

**En referencia a los Surveys y Deslizamientos
tener cuidado con formar salientes al comienzo del
deslizamiento.**



Preparación de Información para perforar un Pozo No Convencional en la Cuenca Pérmica - Texas

- **Superficie & Subsuelo**
 - Geología
 - Mapas de superficie
 - Permisos de Tierras
- **Datos para el Planeamiento del Pozo Horizontal**
 - Reservorio
 - Perforación
 - Tierras
 - Completación / Producción
- Creación de Base de Datos y Autorización para Gastos (AFE)
- Puntos de Contactos Primarios



Preparación de Información para perforar un Pozo No Convencional en la Cuenca Permian - Texas

- **Geología**

- Topes de formación, mapas estructurales. modelo geológico
- Riesgos geológicos superficiales y profundos (fallas, presiones anormales, pérdidas de circulación, presencia de H₂S, etc)
- Datos geológicos de pozos vecinos
- Datos sísmicos

- **GIS**

- Coordenadas de Superficie (taludes, ciénagas, elevaciones, etc)
- Restricciones de Superficie/Riesgos (carreteras, oleoductos superficiales y enterrados, cuerpos de agua, áreas pobladas, infraestructura, líneas de energía, locaciones de pozos, etc)
- Datos Geodésicos de Pozos Vecinos e Incertidumbre de las Coordenadas de Superficie
- Fotos Aéreas

- **Tierras (Superficie)**

- Ubicación de los terrenos en superficie
- Restricciones de los terrenos en superficie



Preparación de Información para perforar un Pozo No Convencional en la Cuenca Permian - Texas

- **Reservorio**

- Objetivos del proyecto
- Espaciamiento entre pozos
- Mínimo/máximo extensión horizontal
- Azimut preferencial

- **Perforación**

- Profundidad de desviación (Kick off point)
- Máximo dogleg permitido
- Alcance horizontal máximo del pozo
- Análisis de riesgo de la trayectoria del pozo
- Ubicación de los cellars
- Número de pozos
- Ángulo de la sección tangencial
- Costos de operación
- Herramientas para tomar los Surveys direccionales durante la perforación (MWD, Gyros, etc)

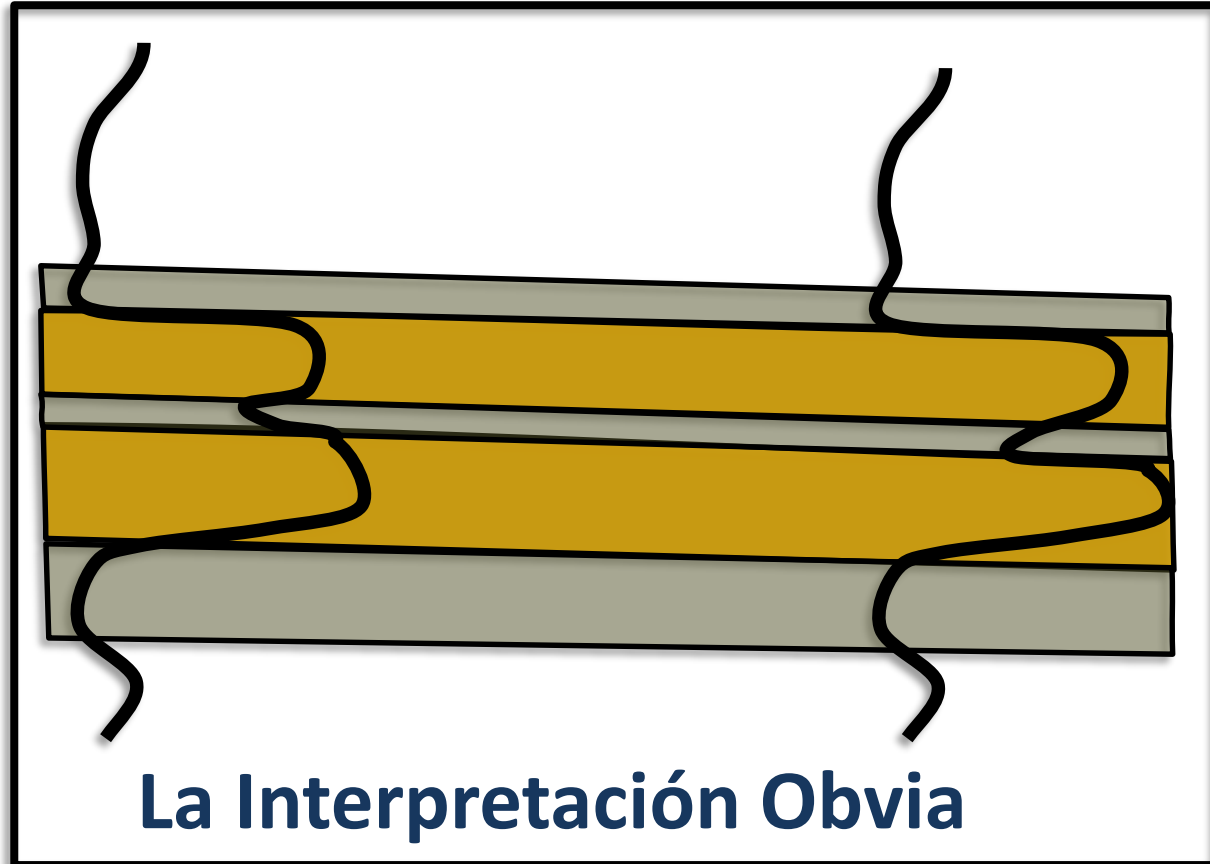


Preparación de Información para perforar un Pozo en Reservorio No Convencional en la Cuenca Pérmica - Texas

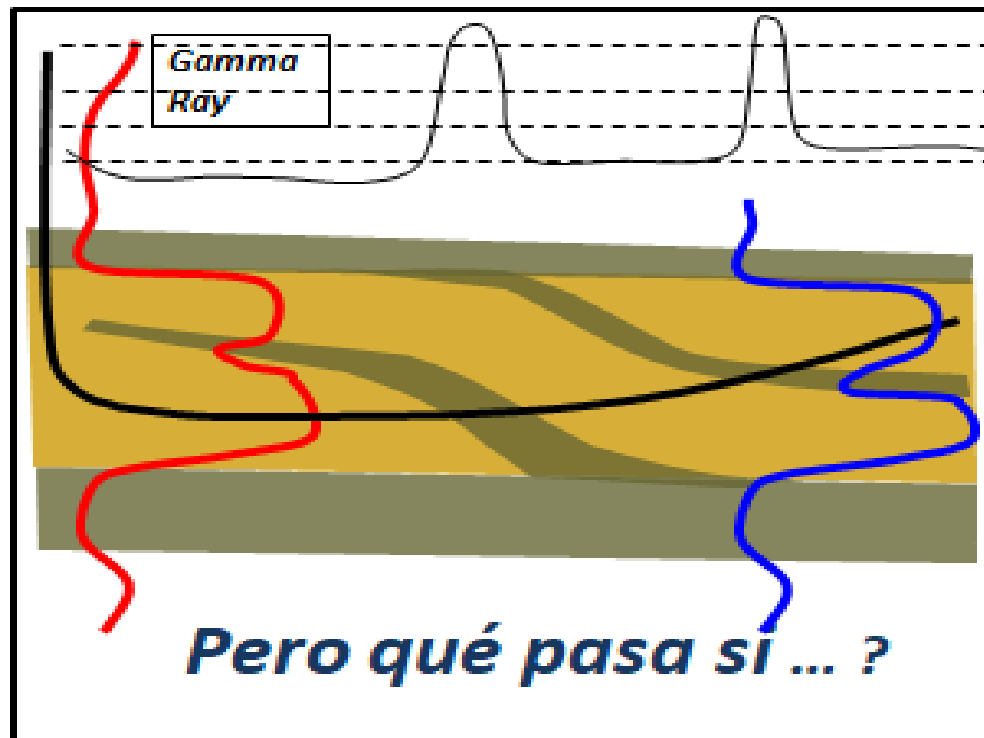
- **Departamento de Tierras**
 - Cellars disponibles
 - Locaciones futuras
- **Completación / Producción**
 - Zonas a estimular
 - Costos de operaciones
 - Optimización y Eficiencia
 - Operaciones simultáneas



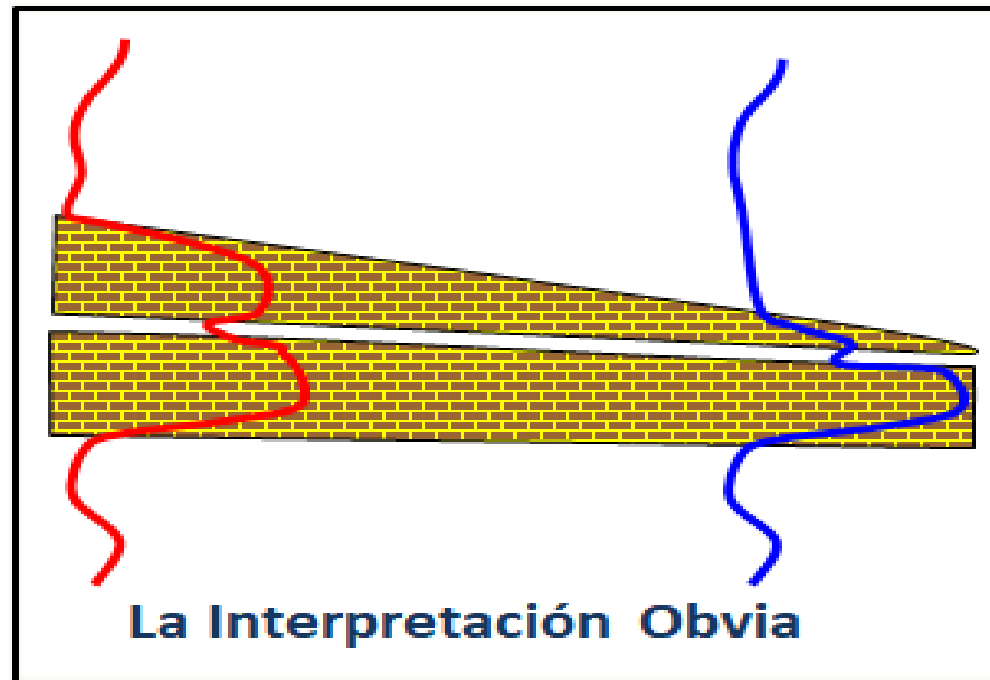
Modelo Geológico antes de perforar: ESTRATIGRAFÍA



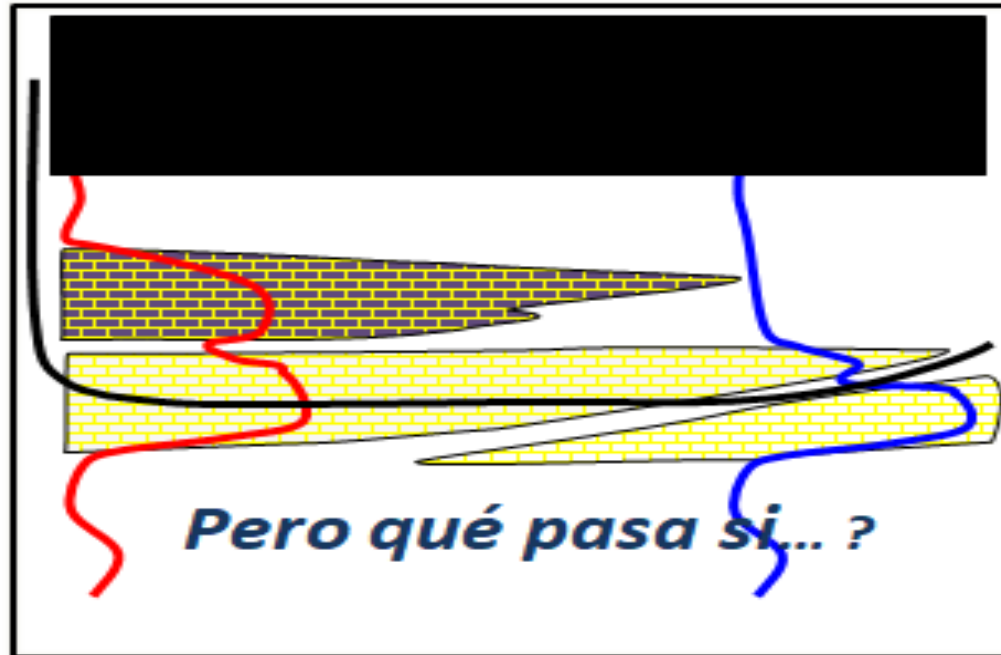
Modelo Geológico antes de perforar: ESTRATIGRAFÍA



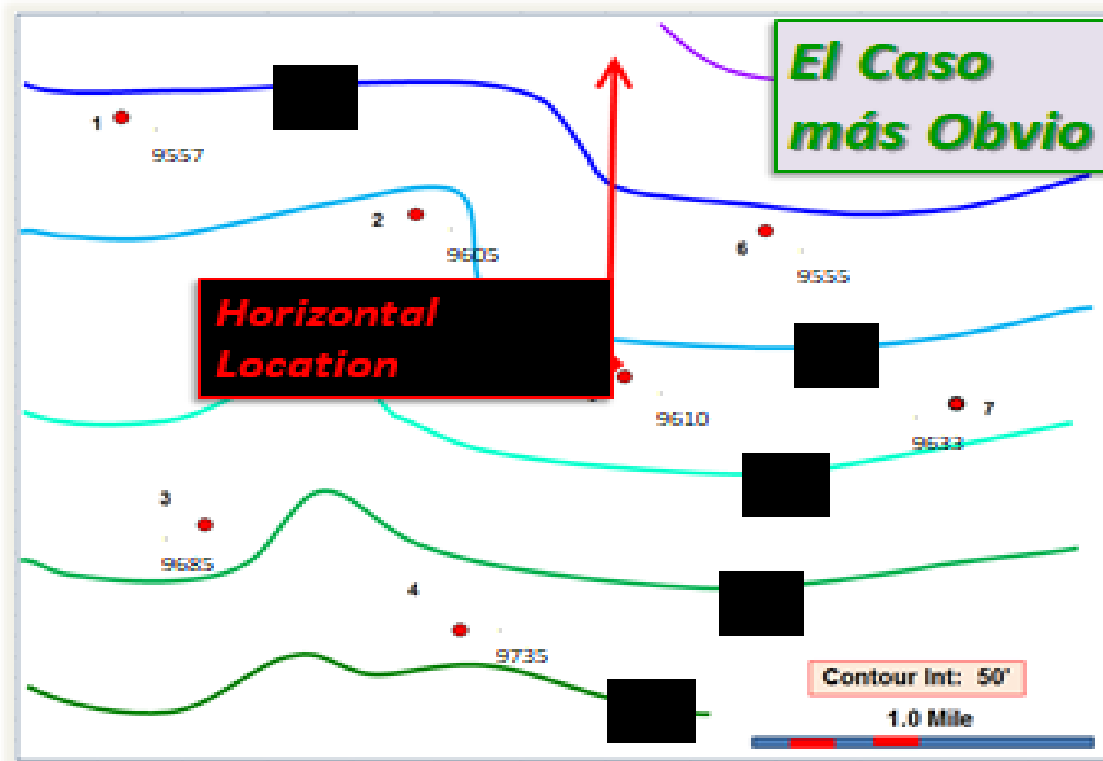
Modelo Geológico antes de perforar: ESTRATIGRAFÍA



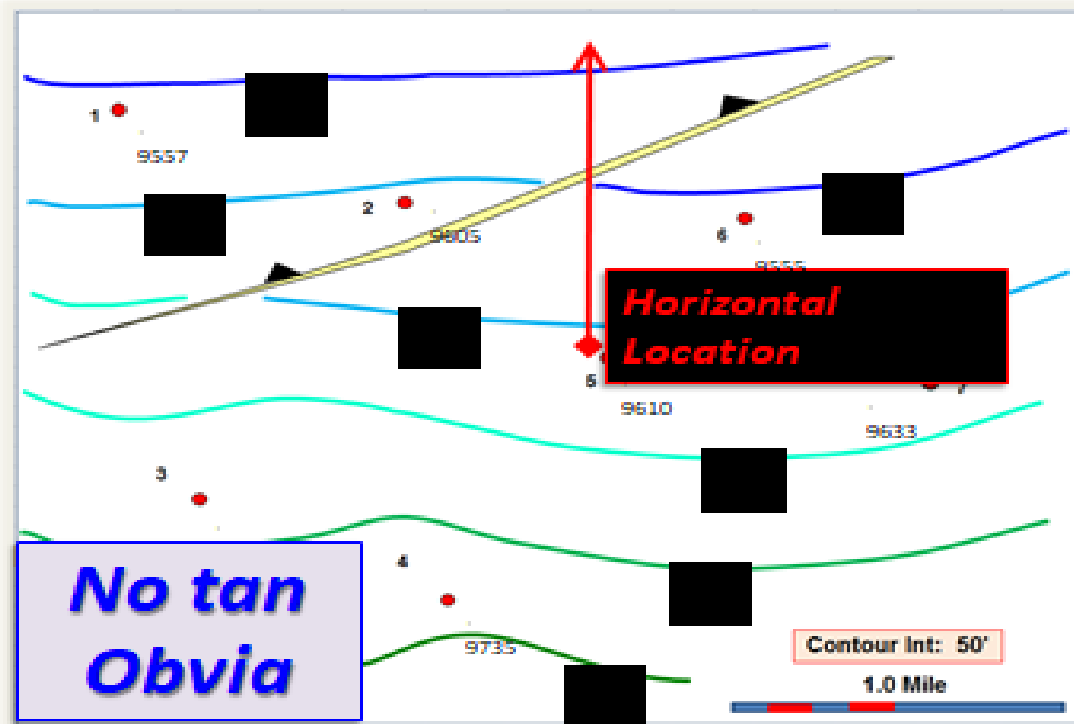
Modelo Geológico antes de perforar: ESTRATIGRAFÍA



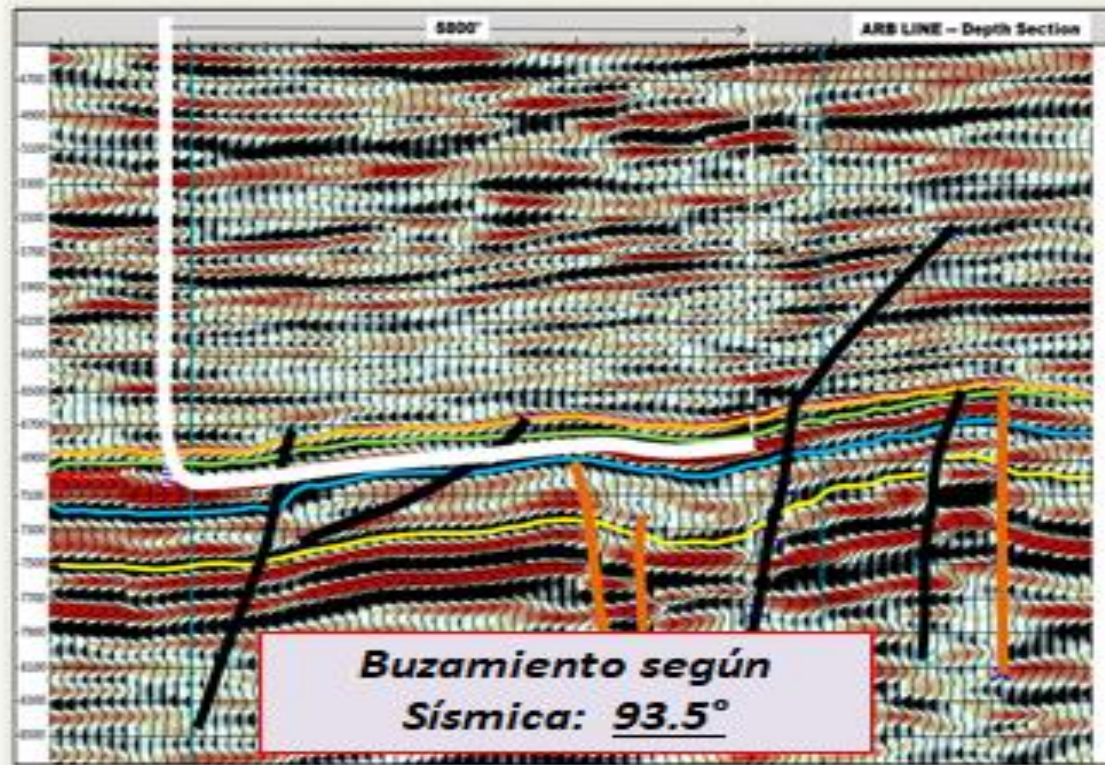
Modelo ESTRUCTURAL antes de perforar: Datos escasos o Mala Interpretación



Modelo ESTRUCTURAL antes de perforar: Datos escasos o Mala Interpretación



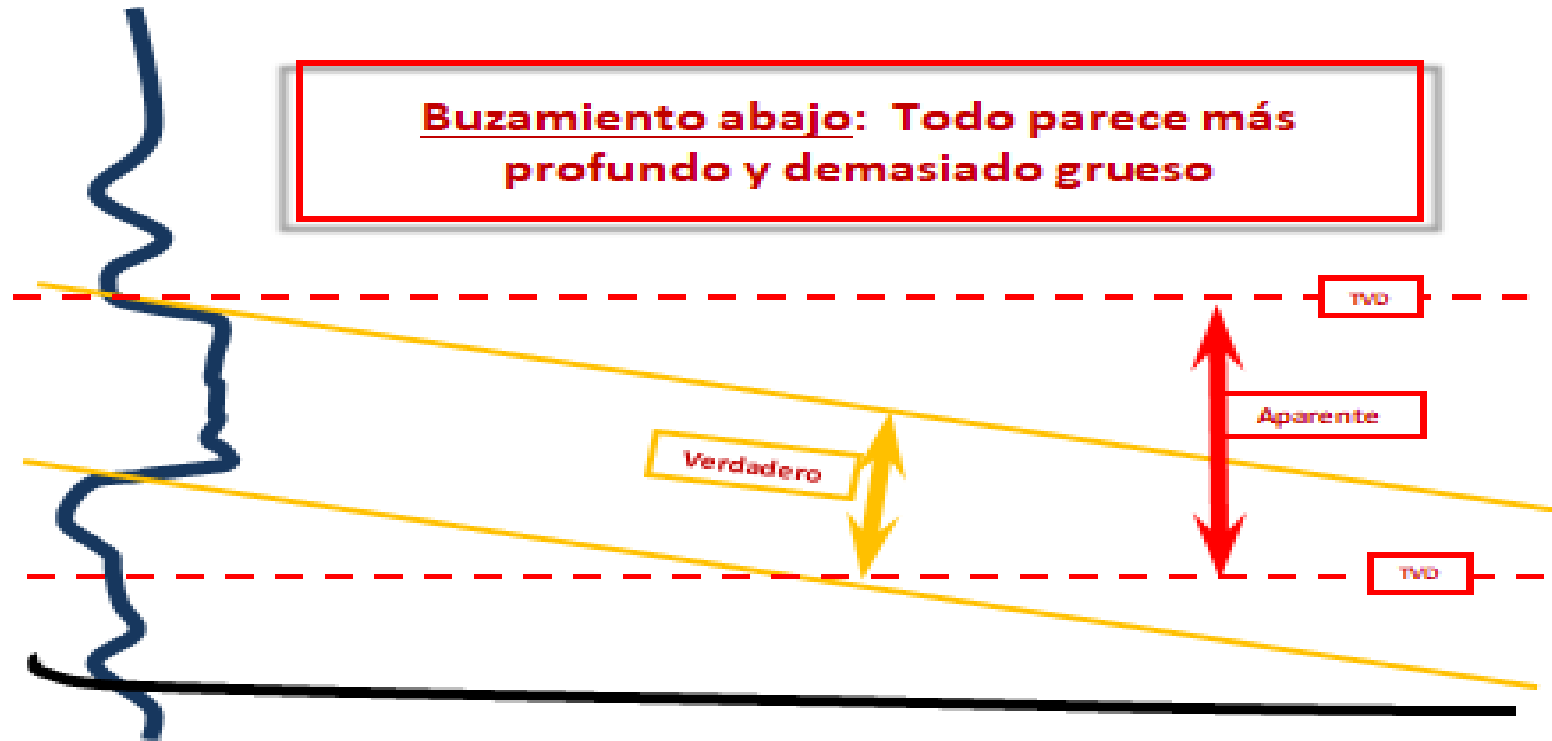
Modelo Geológico antes de perforar: SÍSMICA Velocidad & Migración



Modelo Geológico antes de perforar: SÍSMICA Velocidad & Migración



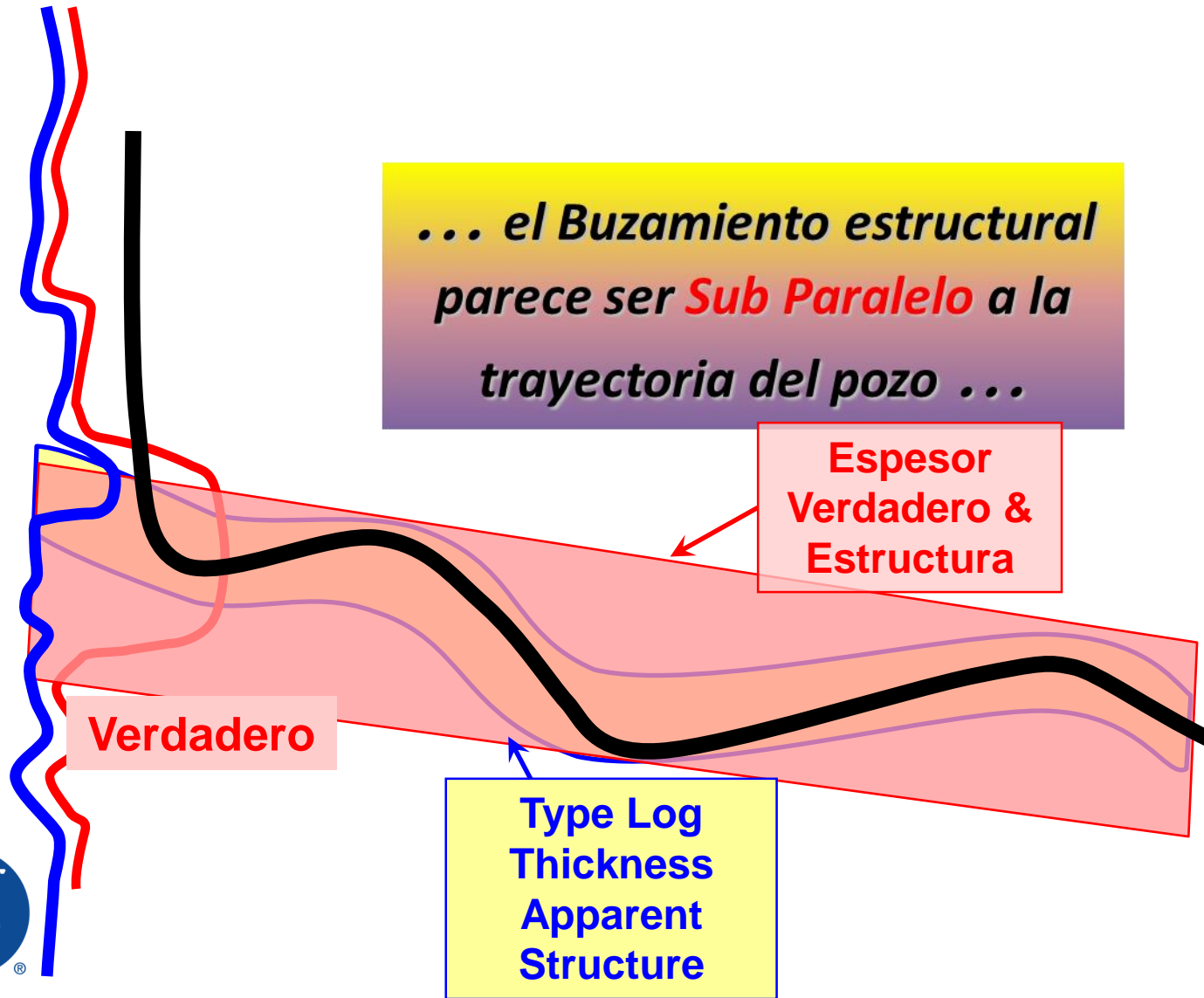
El Problema con los Datos de TVD Simples



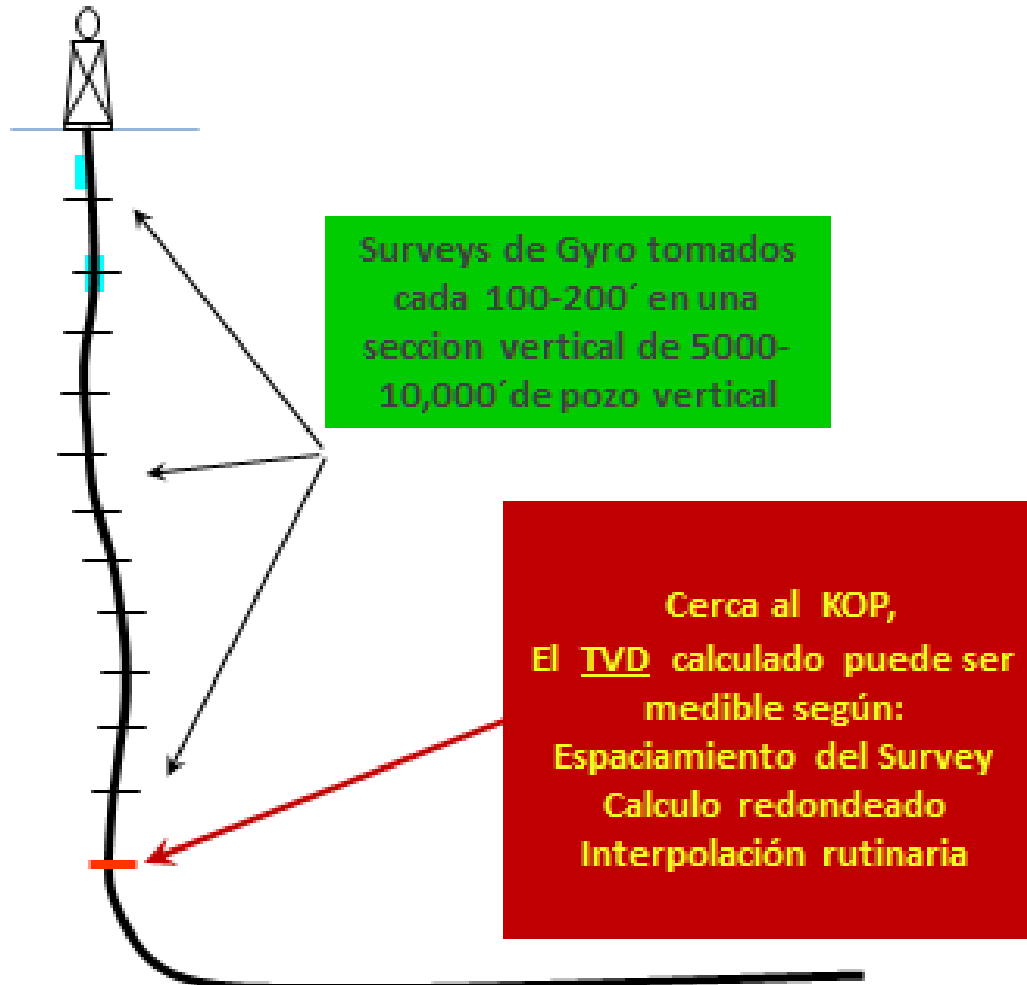
Técnicas –TVD Simple



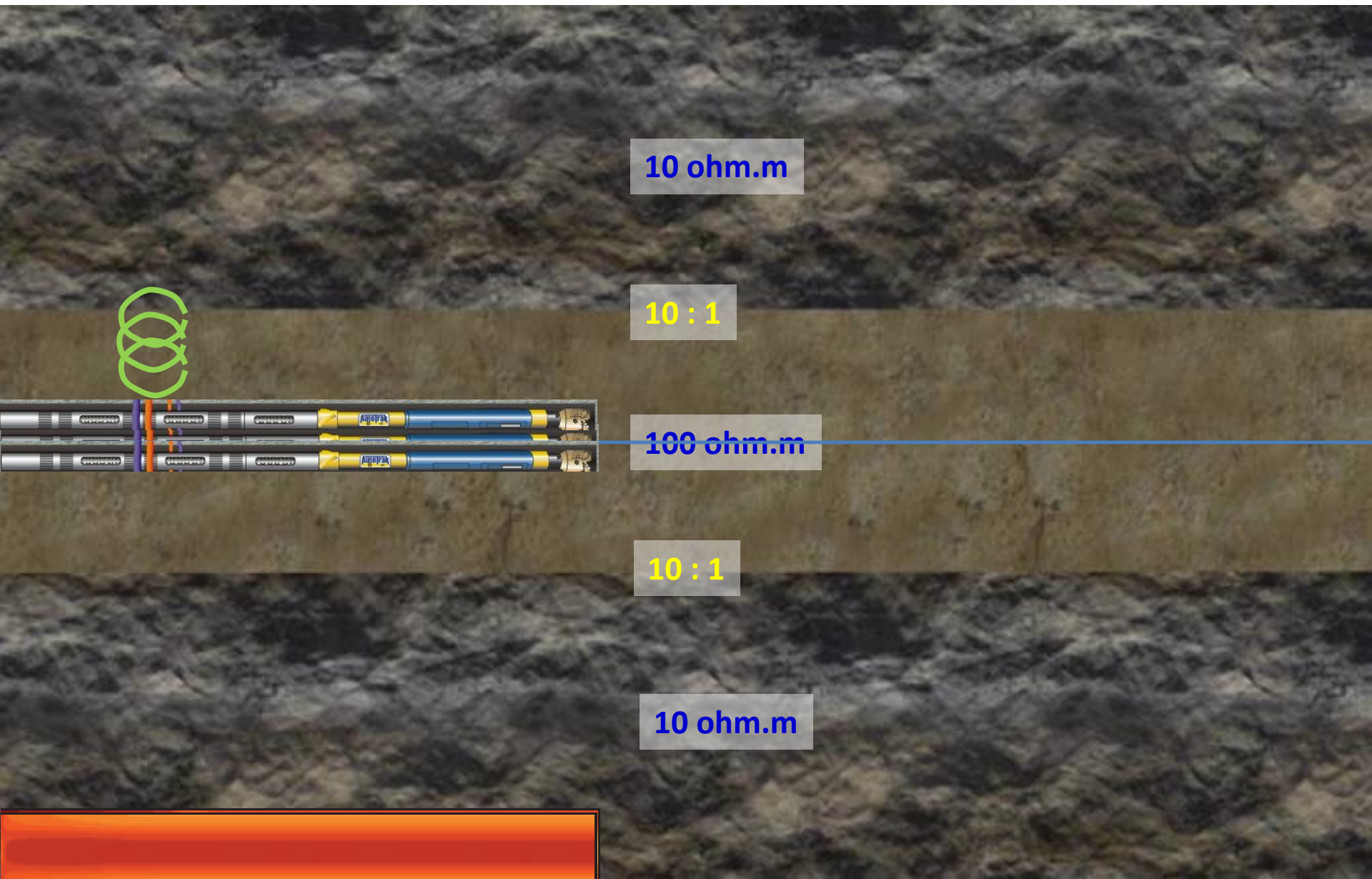
...Pero qué pasa si el Espesor Verdadero no es Verdadero? Dos prácticas Reglas de Juego...



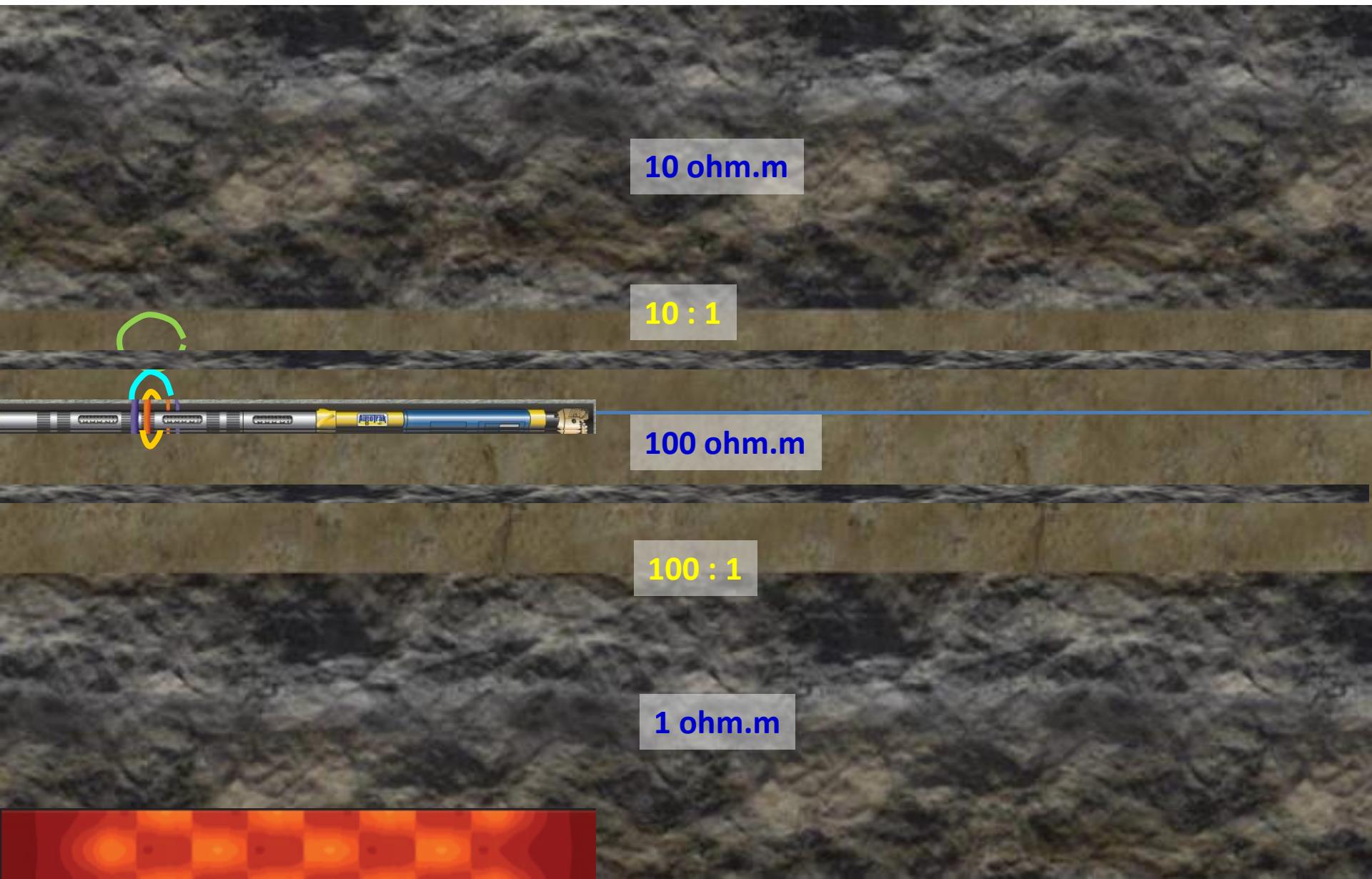
Hoyo Vertical : NO amarrar a Superficie a menos que sea necesario



LWD Distancia al borde de capa y Orientación



LWD Distancia al borde de capa y Orientación



GRACIAS



Lima Section