

Yacimientos de Crudos Pesados

La experiencia de Llanquanelo

Malargüe, Mendoza

Moglia, Diego – Ing. de Reservorios

Pieroni, Esteban - Geología

Buchini, Ariel - Petrofísica

Noviembre 2021





Descubrimiento	1937
Participación YPF	100%
Calidad del HC	12° API
Porosidad	18-19 %
K Promedio	200-300 mD
Viscosidad en Fondo	1500-10000 cP
Profundidad (TVD)	630 - 1000 m
Mec. Drenaje	Exp. Monofásica

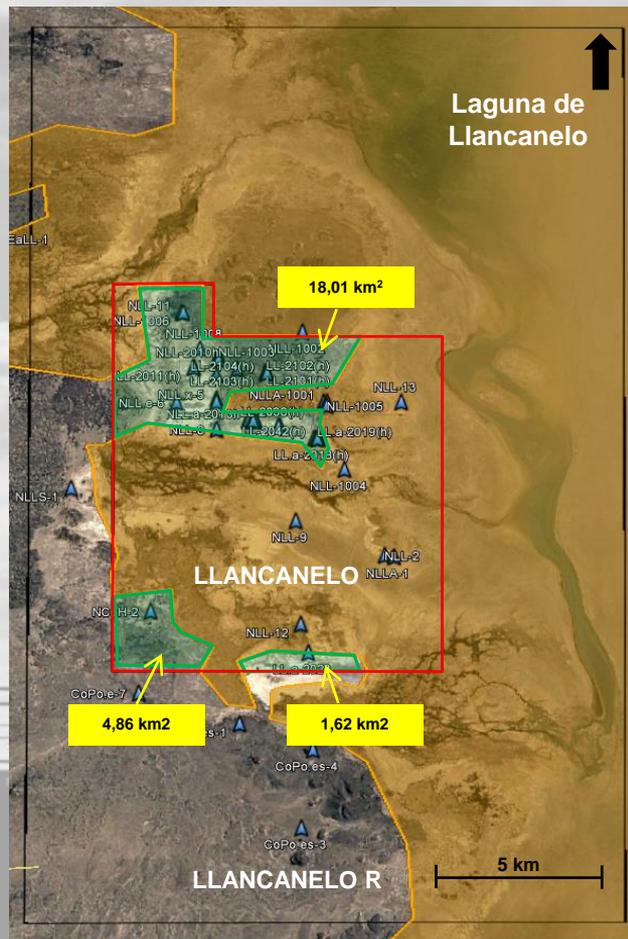
- **Yacimiento de Crudos Extra Pesados (12° API).**
- **La mayor parte del yacimiento (75%) se encuentra dentro de la Reserva Natural de la Laguna de Llanquanelo (sitio RAMSAR).**
- **Las altas viscosidades del petróleo (1500 – 10000 cps) obligan a mantener calefaccionado la totalidad del circuito de producción: gran consumo de energía generada In Situ con GLP.**
- **No se cuenta con oleoductos de entrega. La producción del campo es evacuada por medio de camiones.**
- **Los costos operativos son elevados.**
- **Presenta gran incertidumbre geológica. El yacimiento no cuenta con sísmica 3D.**
- **Necesidad de implementar nuevas tecnologías para optimizar el desarrollo del campo.**
- **Economicidad marginal.**
- **Escasez de información de saturación y propiedades de fluidos a condición de reservorio en intervalos productivos.**
- **Bajo valor de GOR (<10 m³/m³). Mecanismo de drenaje: Expansión Monofásica.**

Área Natural Protegida (Ley 7824, año 2008 – Sitio Ramsar N° 759, 1995)

La Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971) y El Registro de Montreux

- La Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas, conocida en forma abreviada como **Convenio de Ramsar**, fue establecida en 1971 durante una conferencia que tuvo lugar en la ciudad iraní de Ramsar. Su principal objetivo es la conservación y el uso racional de los humedales mediante acciones locales, regionales y nacionales y gracias a la cooperación internacional, como contribución al logro de un desarrollo sostenible en todo el mundo.
- La Laguna de Llanquanelo fue designada como el sitio Ramsar N° 759 el 8 de noviembre de 1995, cubriendo una superficie de 65.000 ha. Es igualmente una Reserva Provincial de Fauna Silvestre.
- Llanquanelo es una laguna salada de ambiente semi-desértico ubicada en una depresión al pie de la Cordillera de los Andes Centrales. Forma parte de una cuenca endorreica y en este sistema se albergan poblaciones pertenecientes a 155 especies de aves acuáticas y no acuáticas y, aproximadamente, 20 especies de mamíferos.
- El **Registro de Montreux**, como una parte de la Base de Datos de Ramsar, es un registro de los sitios que están en la Lista de Humedales de Importancia Internacional, donde han ocurrido, están ocurriendo o pueden ocurrir cambios en las características ecológicas, como consecuencia de desarrollos tecnológicos, contaminación u otra interferencia humana.

https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/ram48s_arg_llanquanelo.pdf



- 1980:** Reserva Faunística de Llanquanelo (40.000 has).
- 1993:** Sistema ANP (Ley 6.045).
- 1995:** Sitio RAMSAR N° 759 (65.000 has).
- 2008:** Ley 7428 - Ampliación del límite del Área Natural Protegida (87.000 has). Establecimiento de límites subterráneos y aéreos (600 ms).

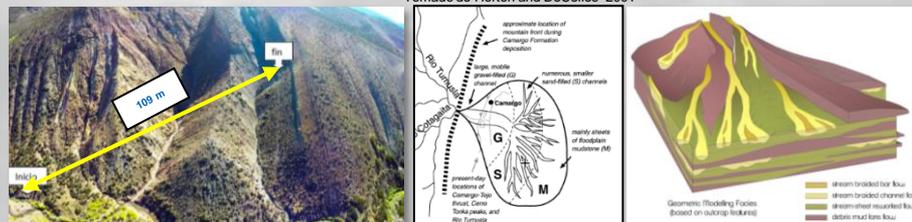
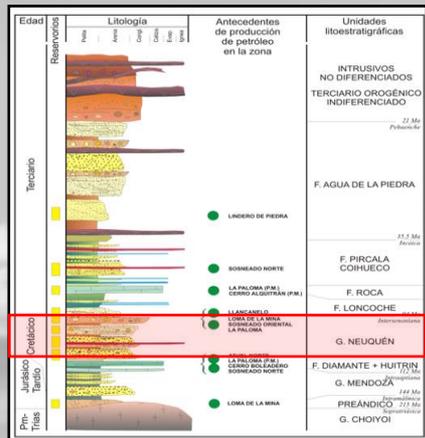


Área permitida
Superficie: 24,5 km²
 (26% del Área de Concesión y d)

Área restringida en superficie para operaciones petroleras
Superficie: 71,4 km²
 (74% del Área de Concesión y hasta 600 m de profundidad).

Estratigrafía, Modelos Paleoambiental, Estructural y Petrofísico

El bloque Llanccanelo se ubica en el Ámbito de borde de cuenca, hacia el Norte de la misma. La columna litológica tipo muestra menores espesores hacia el Este.



Los sedimentos se interpretan como depósitos de abanicos aluviales y sistemas fluviales efímeros superpuestos. Se describen facies de flujos densos gradando a encausados y canalizados hacia el tope, con matriz arenosa y evidencia de exposición sub-aérea

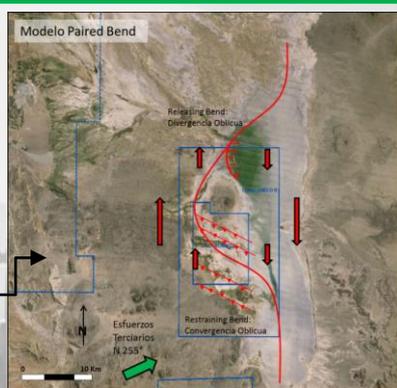
LIF40	CONGLOMERADO gr. (con matriz conglomerática, entre 14 cm de arena silicea, matriz arenosa calcárea)
LIF41	CONGLOMERADO med. (2-10 cm)
LIF42	CONGLOMERADO gr. (con matriz conglomerática, 15% gr. arena silicea, matriz arenosa calcárea)
LIF43	ARENISA CIRCULOGRADICA gr. (con matriz conglomerática, arenosa matriz arenosa calcárea)
LIF44	ARENISA med. (2-10 cm)
LIF45	ARENISA med. (2-10 cm)
LIF46	ARENISA med. (2-10 cm)
LIF47	ARENISA med. (2-10 cm)
LIF48	ARENISA med. (2-10 cm)
LIF49	ARENISA med. (2-10 cm)
LIF50	ARENISA med. (2-10 cm)



MODELO ESTÁTICO INTEGRADO A PARTIR DE:

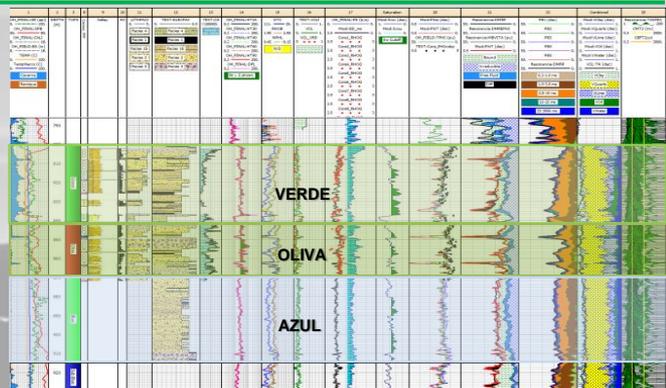
- **Modelo Estratigráfico-Sedimentológico:** Los afloramientos (Perfil A° Las Aucas) y los reservorios del subsuelo (coronas y cutting) presentan una buena correlación de detalle usando GR y Quimioestratigrafía (FRX).
- **Modelo Estructural:** Modelo Paired Bend validado con modelo Esfuerzo - Deformación.
- **Modelo Petrofísico:** Obtención de curvas de VCL, PHIE y SW (Modelo Simandoux).

Se consideraron 3 modelos posibles (Contractional Horse Splay, Flor positiva y **Paired Bend**), que respondían a los datos de los pozos y las fallas interpretadas en la sísmica. El modelo tipo Paired Bend, explica mejor los altos que generan los yacimientos y el bajo que se observa al norte, donde se encuentra la Laguna Llanccanelo.

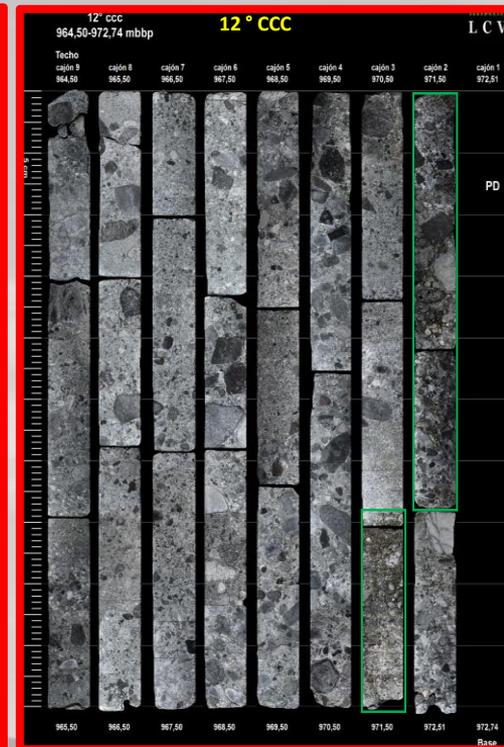
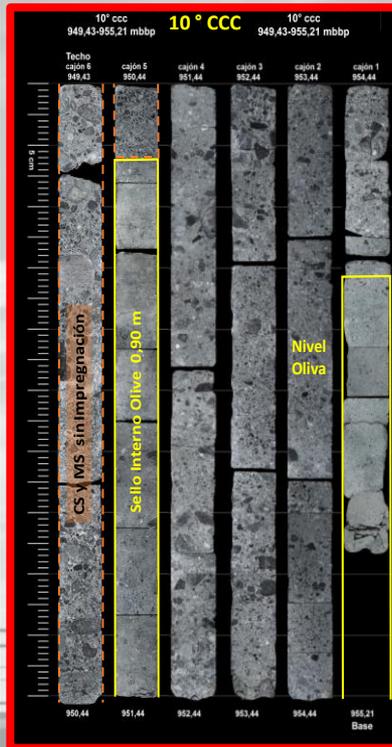
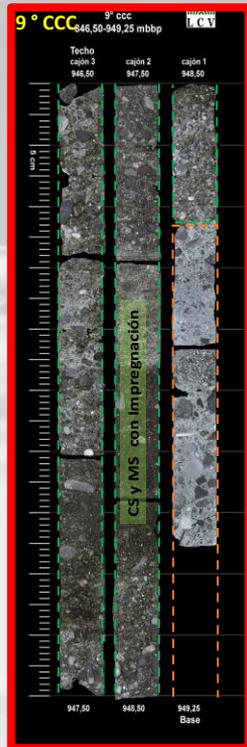
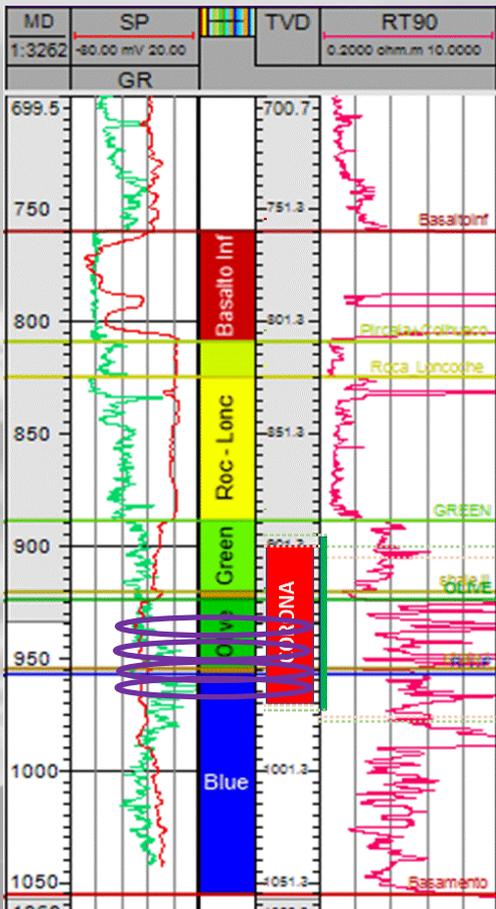


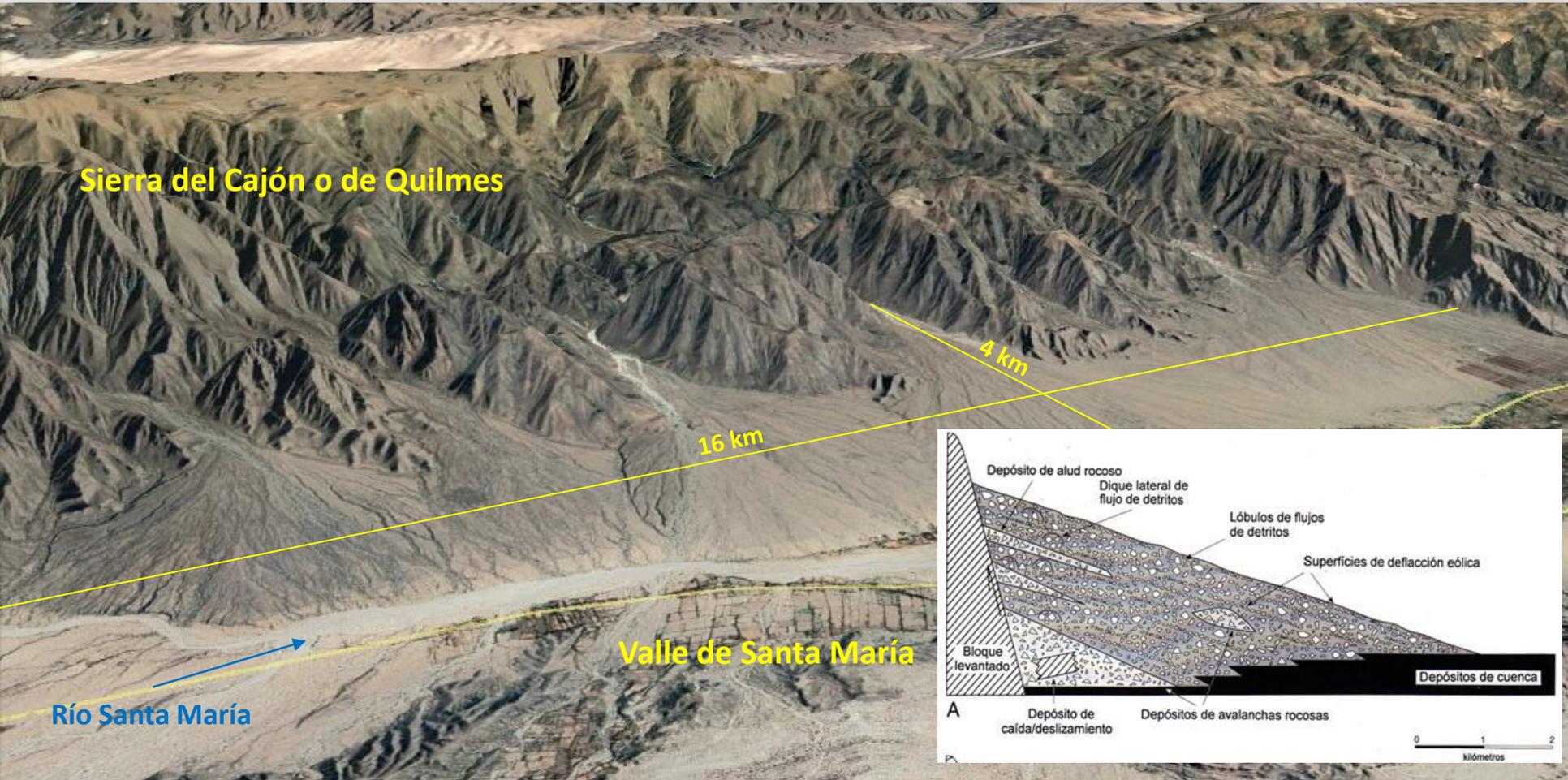
En coronas, el cemento calcáreo y el contenido de arcilla son los principales controles de calidad del reservorio. Del análisis DRX se determina mayor grado de cementación carbonática y proporción de Qz y arcillas vs Feldespatos para el nivel inferior, lo que indica una mayor madurez textural y mineralógica respecto del nivel superior.

	VCL %	PHIE %
GREEN	10.5	19
OLIVE	11.3	18.6
BLUE	11.5	17.9



El área no cuenta con sísmica 3D pero cuenta con 11 líneas 2D adquiridas por diferentes Cías. Su calidad es variable, debido a la presencia de basalto superficial.





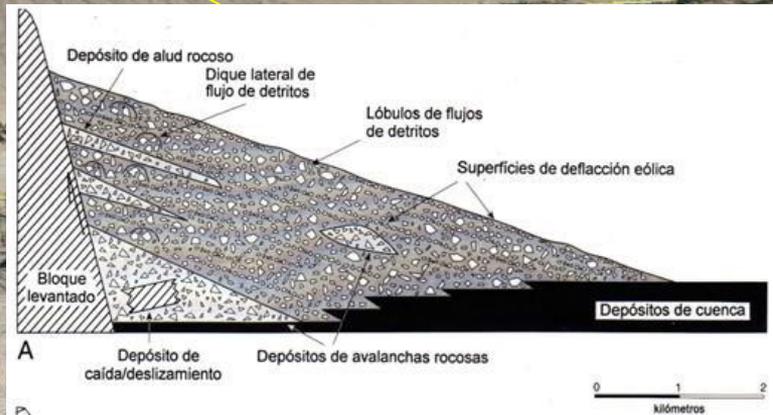
Sierra del Cajón o de Quilmes

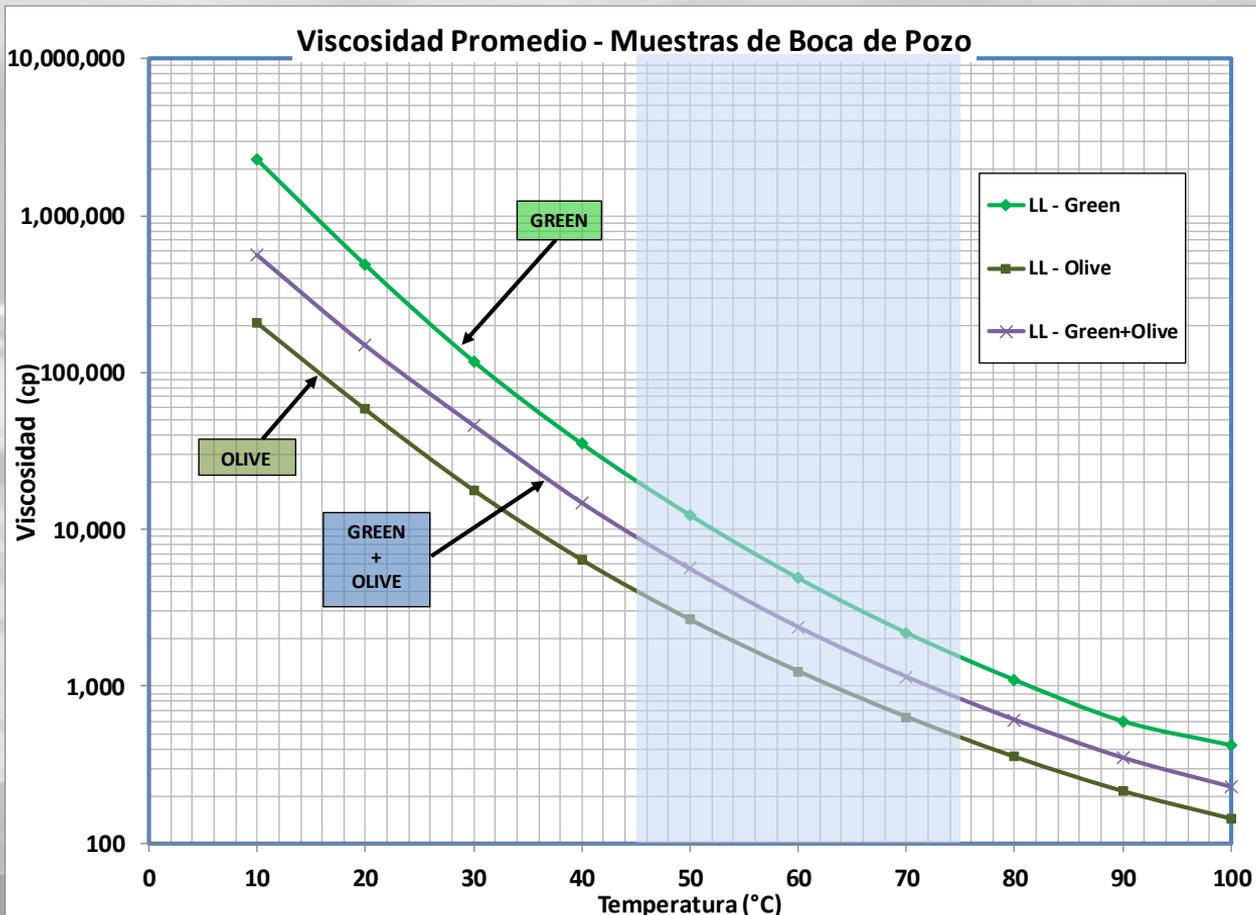
16 km

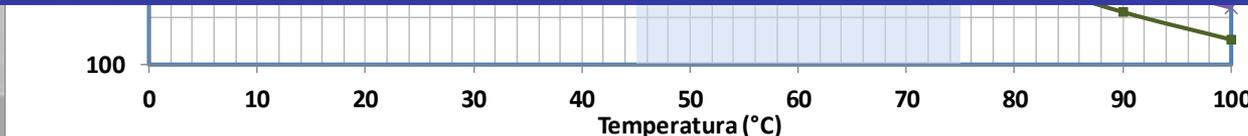
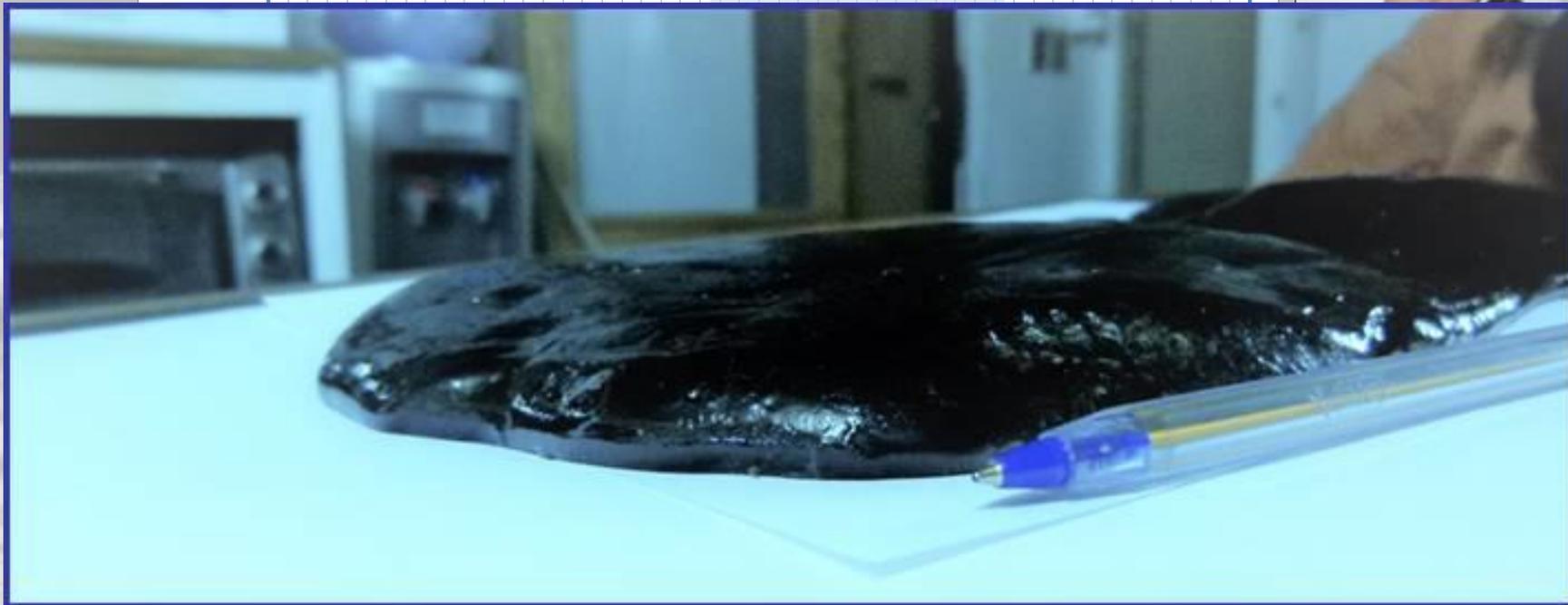
4 km

Valle de Santa María

Río Santa María

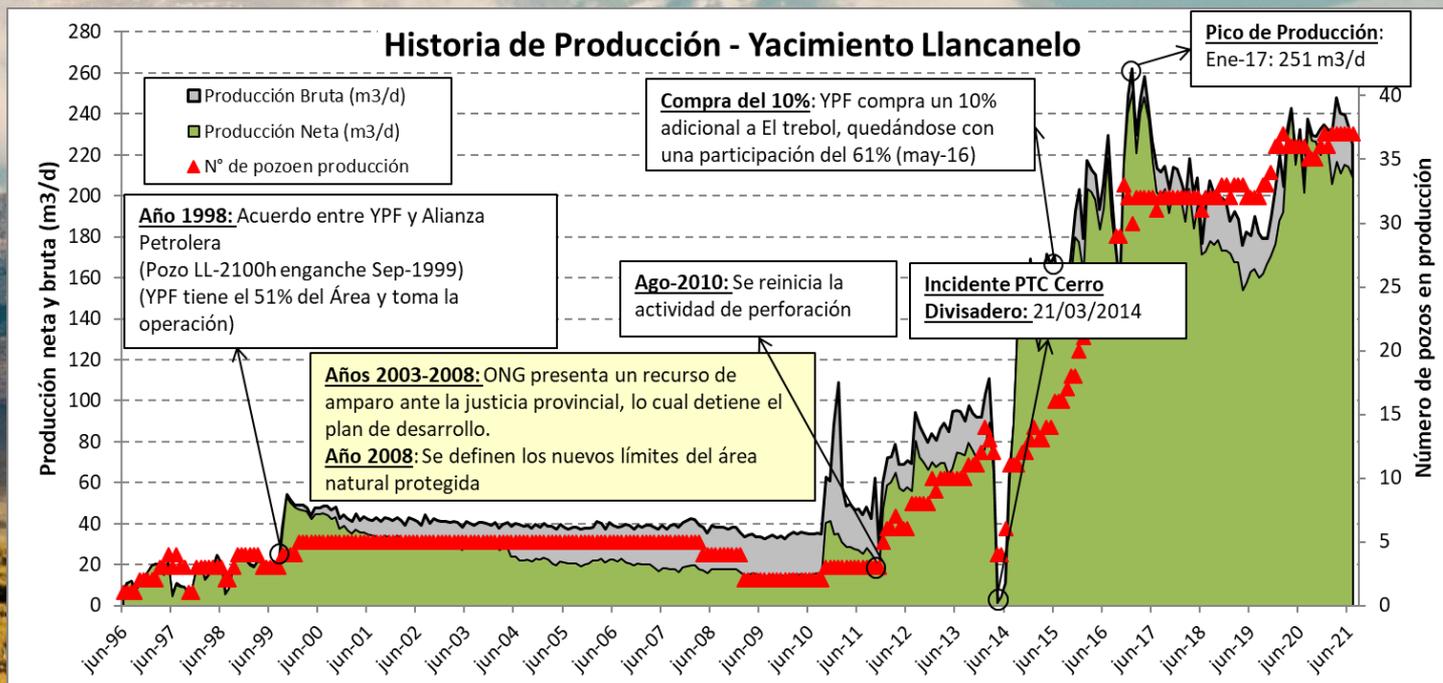


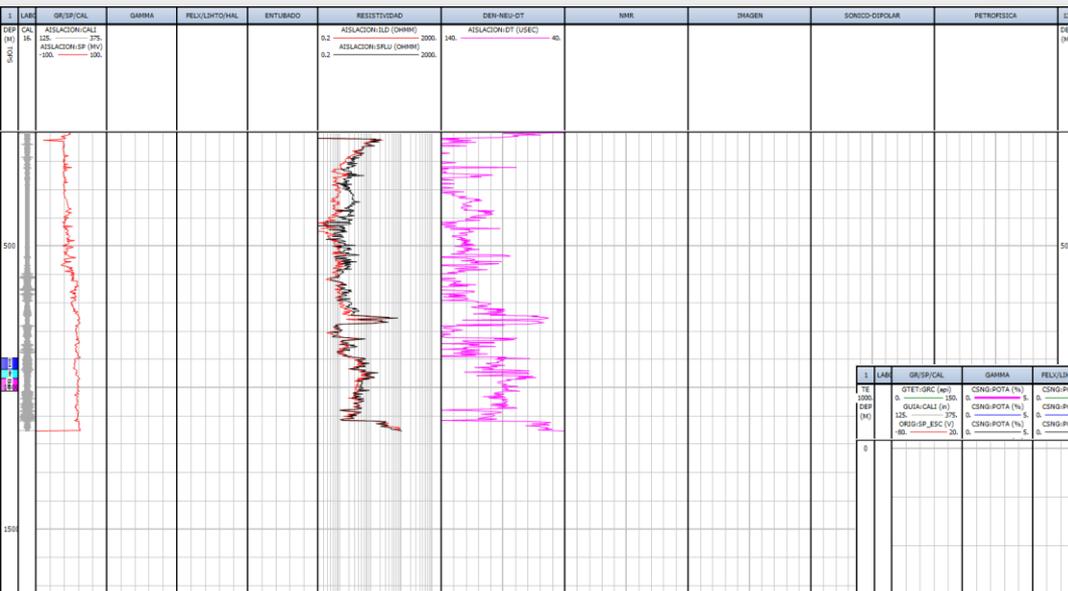




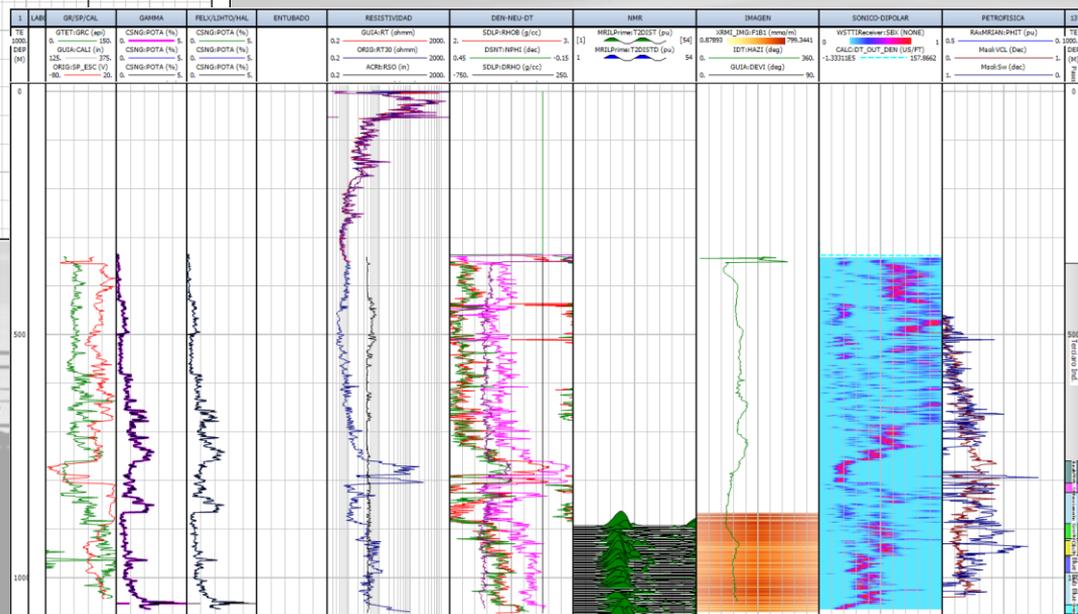
Historia de Producción

- 1937 → Se perforaron los primeros pozos en el área: LL.x-1 y LL.x-2 comprobando petróleo en niveles Terciarios.
- 1965 → YPF perfora el pozo NLL.x-5 siendo el pozo descubridor para el Gr. Neuquén; hasta 1977 se perforó 13 pozos en el área de explotación y 3 pozos exploratorios fuera de la misma.
- 1981 → El yacimiento fue otorgado en contrato de riesgo a un consorcio con Union Oil Co. como operador. Entre 1981 y 1985 se perforaron 8 (ocho) pozos verticales implementando la inyección cíclica de vapor de agua. En 1985, Union Oil Co. Decide abandonar la operación, debido a su elevado costo.
- 1993 → APASA obtiene el 100% de la concesión del área, produciendo desde entonces unos 150 bbls/día de petróleo, de cuatro pozos, sin inyección de vapor (cold production).
- 1998 → Se estableció un acuerdo de asociación entre YPF y APA SA.
- 2000 → Recurso de amparo de una ONG, ante la Justicia Provincial, provoca la detención y retraso del plan de desarrollo del yacimiento.
- 2011 → Inicia campaña de desarrollo mediante la perforación de pozos horizontales (arenas Verde y Oliva)
- 2017 → Desarrollo suspendido en evaluación de alternativas económicas.
- 2019 → Reinicio de las actividades. Perforación de pozos de avanzada y de dos (2) pozos multidirigidos, todos geonavegados al nivel Green y Olive.

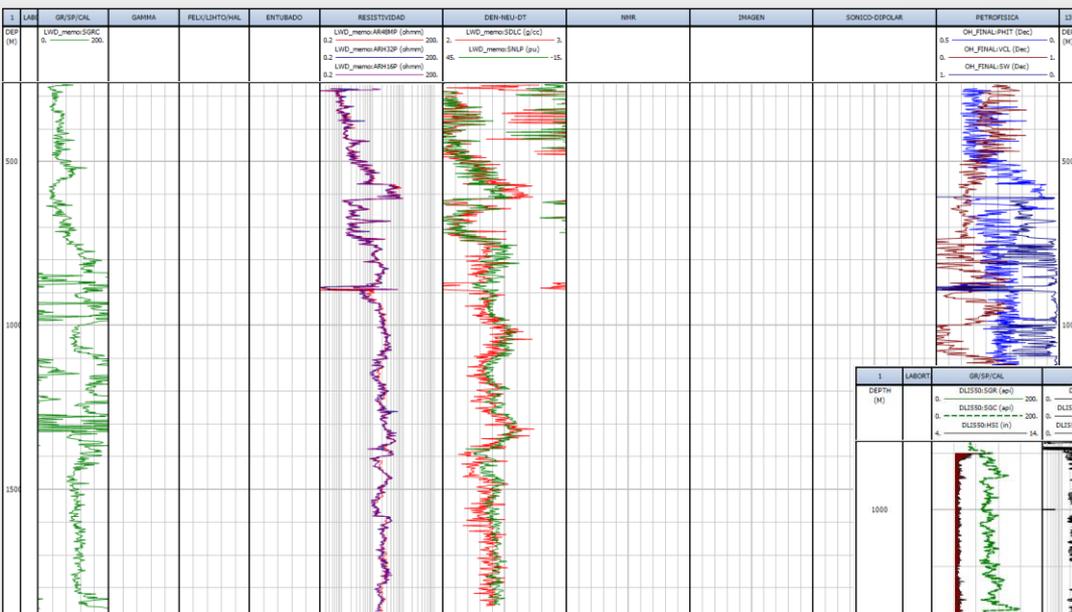




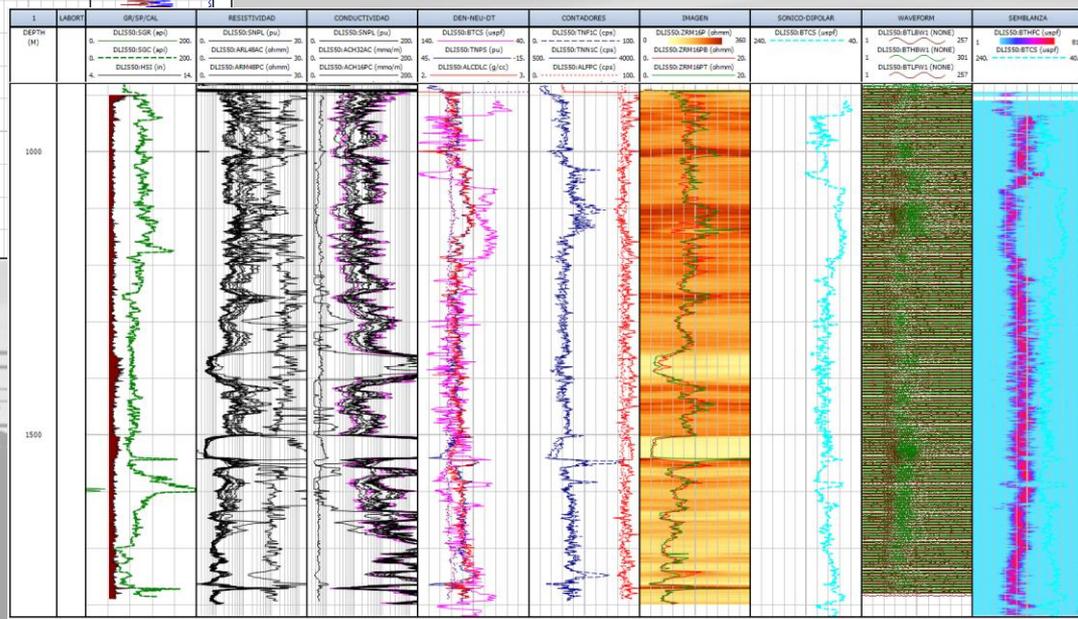
**Pozo Vertical
Registro Eléctrico 1964**



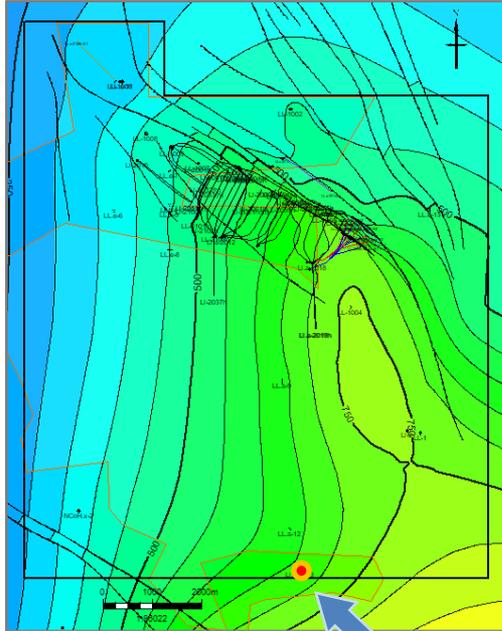
**Pozo Vertical
Registro Eléctrico 2019**



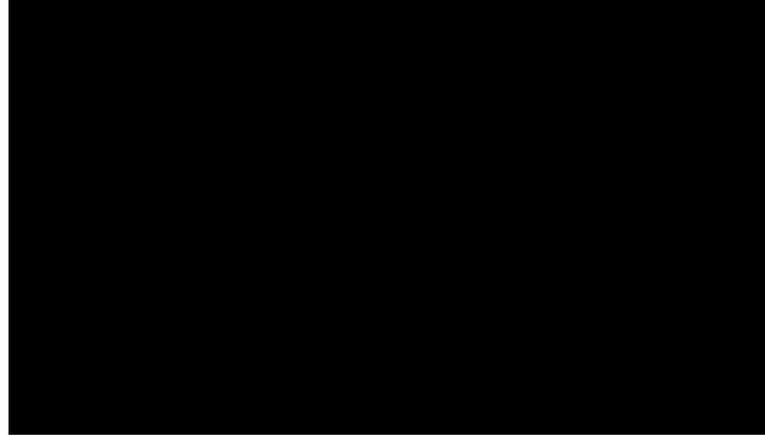
**Pozo Horizontal
Registro Eléctrico 2010**



**Pozo Horizontal
Registro Eléctrico 2019**



Pozo vertical de avanzada perforado en zona sur para toma de muestras de fluido

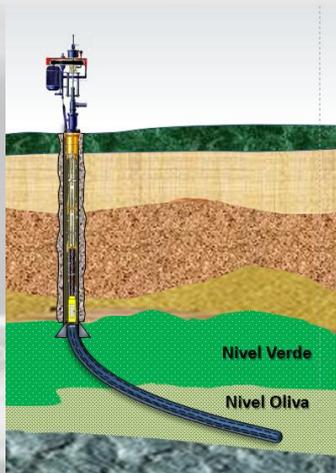


En el laboratorio se realizaron las siguientes determinaciones:

- Caracterización composicional (Composición molecular, volumen total de gas disuelto, densidad y PM).
- Presión de Burbuja a T de reservorio.
- Curva de Viscosidad Vs. Presión a T de reservorio.
- Viscosidad Atmosférica Vs. Temp.



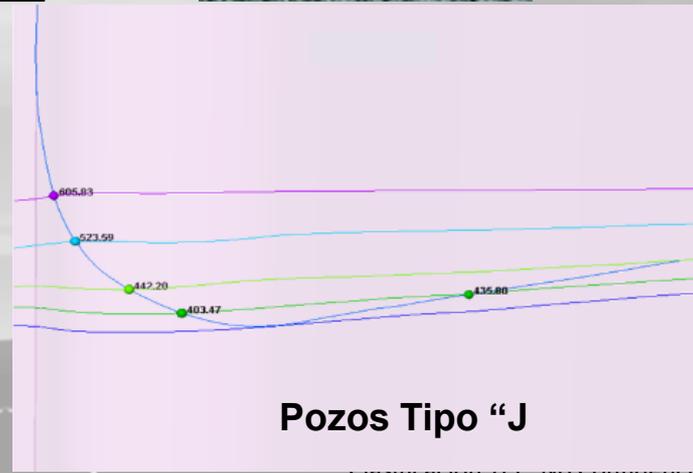
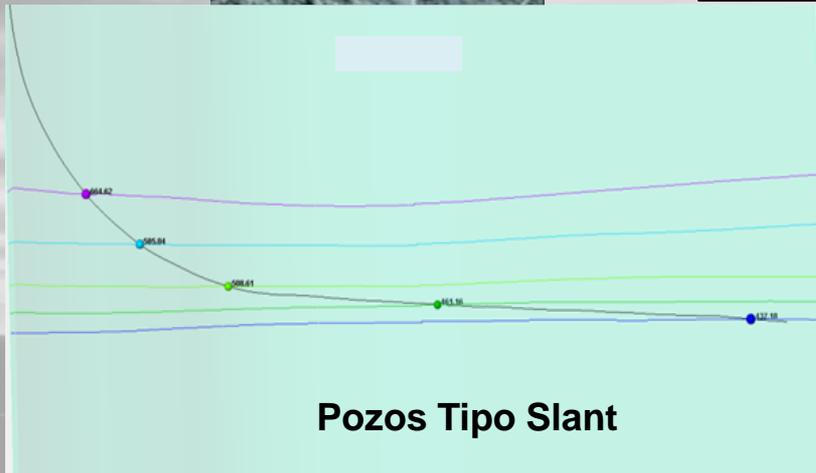
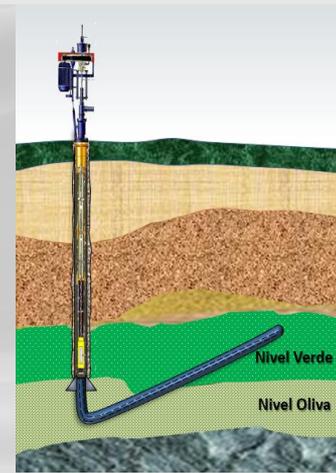
Desarrollo con Pozos Horizontales Simples

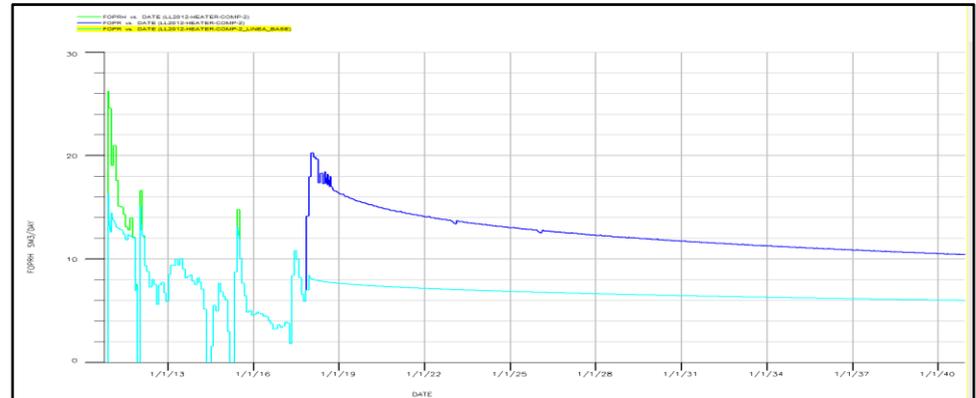
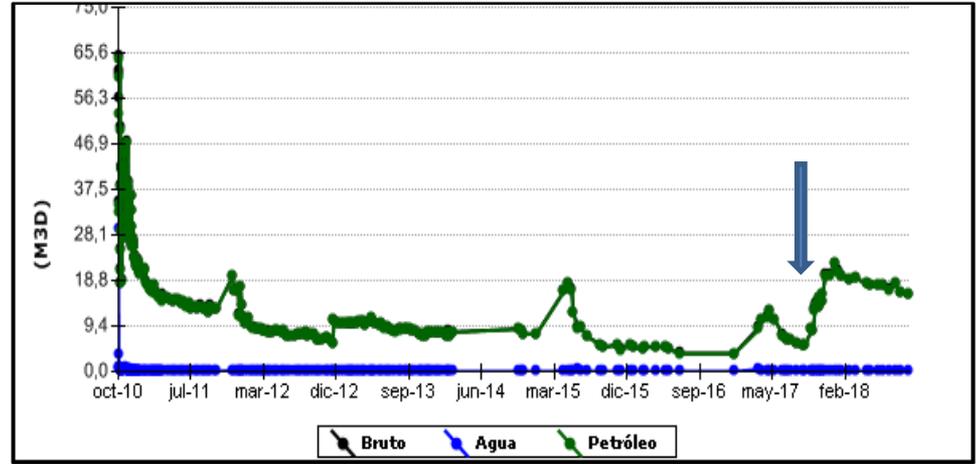
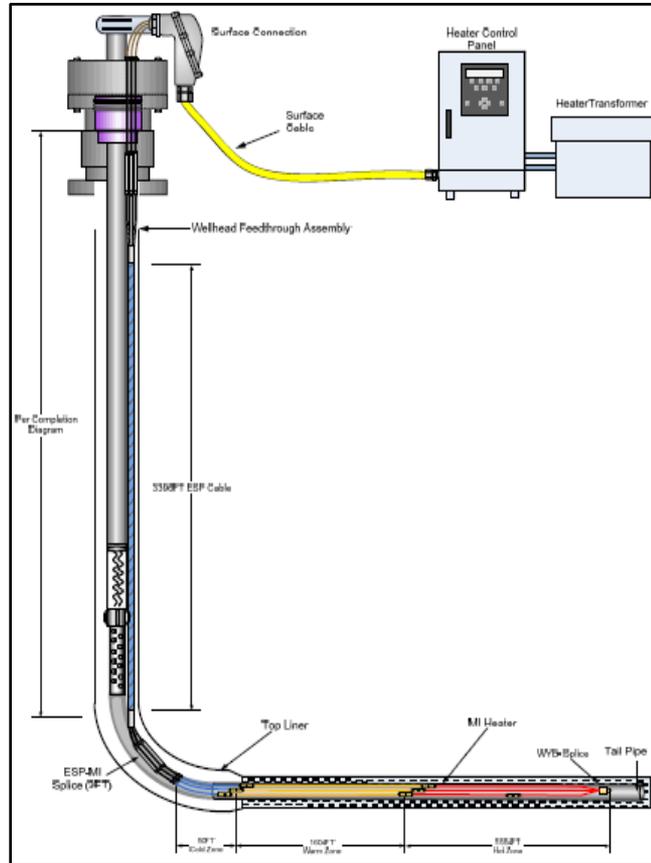


Estrategias alternativas:

Calentadores de Fondo:
Incremento de movilidad.

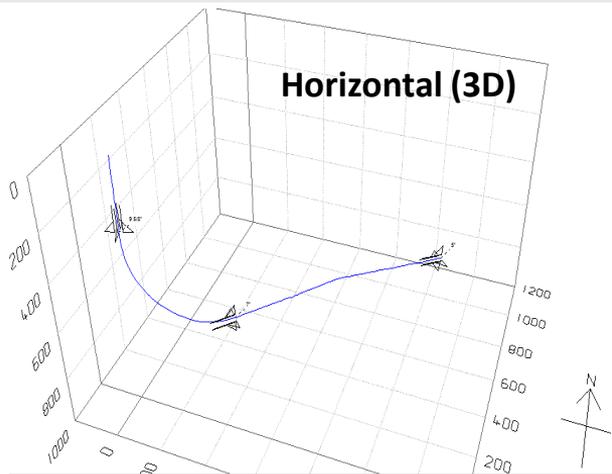
Pozos Multidirigidos:
Incremento de espesor útil contactado.



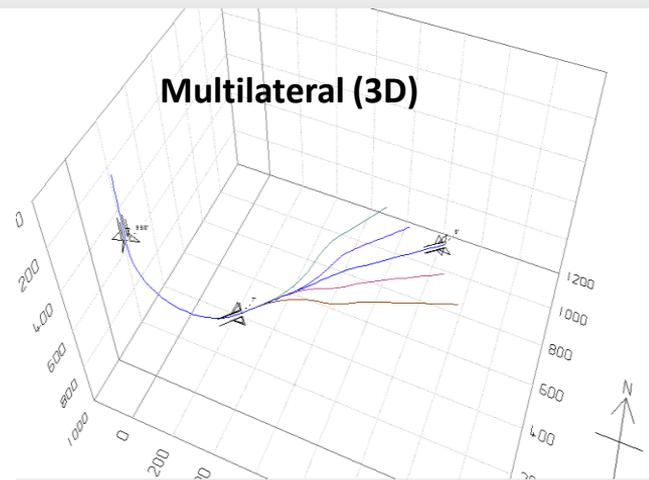


Perforación: Pozo Horizontal vs Pozo Multidirigido

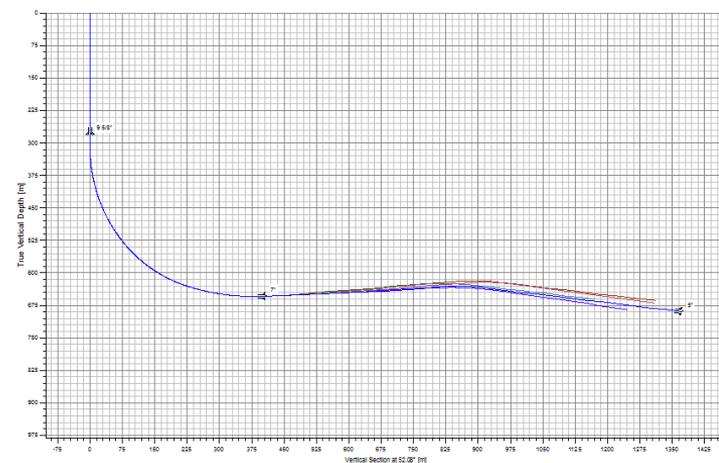
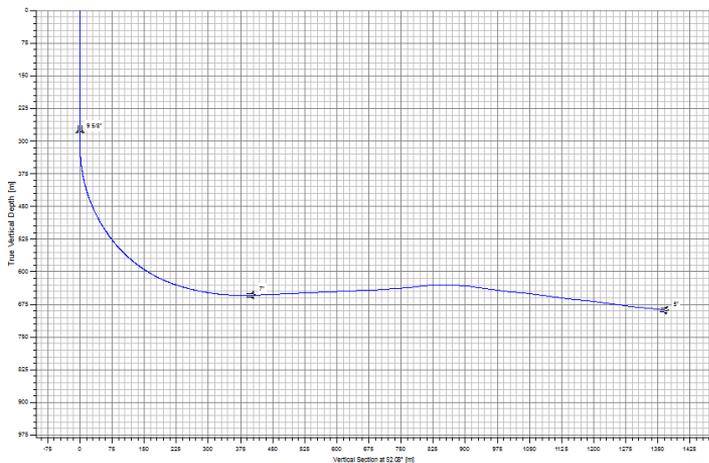
Horizontal (3D)



Multilateral (3D)



En ambos casos se atraviesa la misma formación productiva. Solo cambia el número de ramas perforadas.

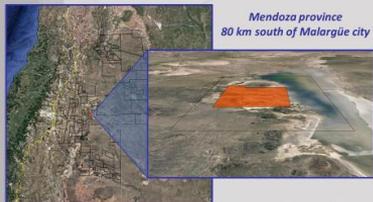


An Approach to Inter Branch Distance Optimization in Heavy Oil Multi-Branch Horizontal Wells

Diego Moglia, Esteban M. Pieroni, Ariel R. Buchini, Enrique A. Peralta y Pablo E. Lacentre. - Buenos Aires, August 2019



Geographic Location of Llancanelo field



Llancanelo's Challenges:

Strong environmental regulations (RAMSAR site)



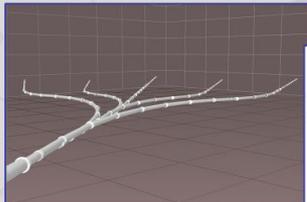
Extra heavy oil (viscosity up to 12,000 cP)



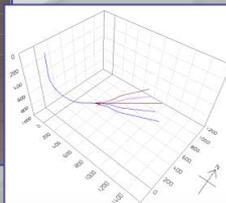
Production delivered by truck and power generated "in situ" with GLP generators



Llancanelo's Multi-Branch Well Design



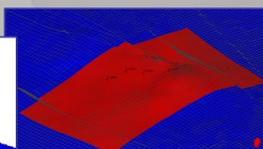
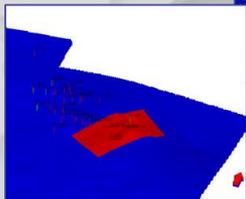
Five 1000 m long, almost parallel open hole branches



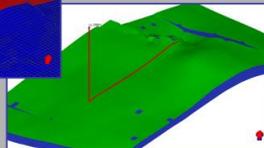
- Advantages over standard horizontal single wells:
- Higher well productivity
 - Greater developed area per well
 - Higher power efficiency
 - Less environmental impact
 - Fewer locations
 - Less surface facilities
 - Fewer pumps
 - Less interventions

Dynamic Model

Sector model

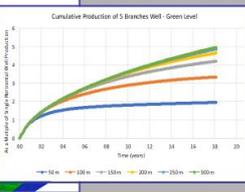
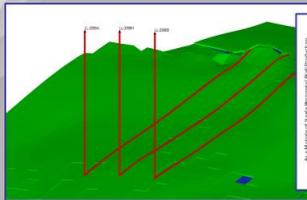


Fictitious horizontal well placed in the center of selected sector model



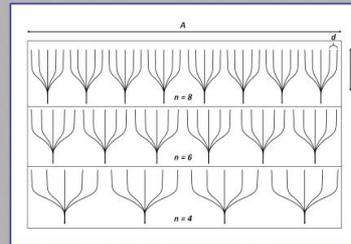
Sector model placed in the developed zone

Parallel identical horizontal wells to model interference as a function of inter-branch distance



Cumulative production of a five branch well, estimated from a both sides interfered single branch productivity. Inter-branch interference decreases as inter-branch distance grows. For an inter-branch distance of 300 m there's almost no interference and a multibranch well accumulates 5 times the production of a single horizontal well

Inter-Branch Distance Optimization



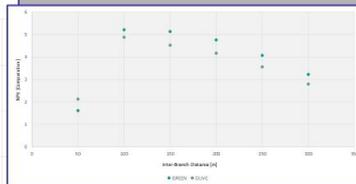
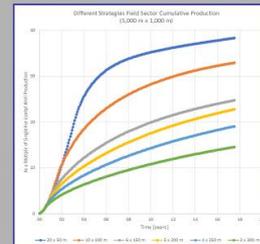
Different development strategies for a given sector of the field (AxB dimensions) depending of inter-branch distance "d". Lower inter-branch distance is associated with:

- Greater number of wells "n"
- Higher group production
- Higher group inversion
- Higher interference
- Lower single multibranch well productivity

Using A=5,000m and B=1,000m

Inter-Branch Distance [m]	50	100	150	200	250	300
Branch Length [m] [B]	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Number of Wells [n]	20	10	6	4	3	2
Lateral Length [m] [A]	5,000	5,000	4,650	5,000	5,250	4,800

Cumulative production and economic evaluations



Optimal strategy defined as the one that maximize NPV

Conclusions

- **Optimal** inter-branch distance is between 100 m and 150 m.
- Multi-Branch wells shows **better economic indicators** than simple horizontal wells. The increase in net pay is proportionally greater than costs increases so **investments** gets **more efficient**.
- **Fewer locations** needed for full field development **reduce environmental impact** of project.



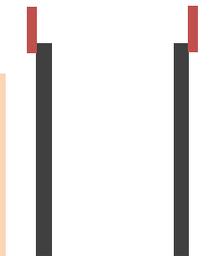
Perforar Guía

- Trepano 12 ¼"
- TD 280m
- Agua Bentonita



Perfil Guía

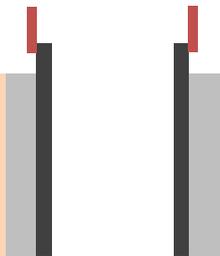
GR, RES, TEMP, SP, CAL (perfil ecológico)



Entubar Guía

CSG 9 5/8" 32.3# H40 STC

Cabeza de Pozo:
Sección A 3KPSI Clamp



Cementar Guía

Cemento Clase A
Cementar a superficie



Perforar Intermedia

Trepano 8 3/4"

MF+MWD+LWD (GR+Res)

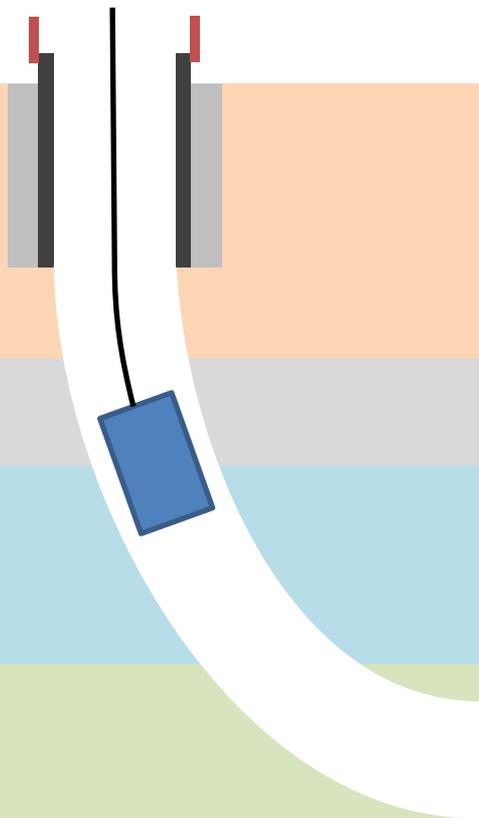
Geonavegación para aterrizar

DLS 5.5°/30m.

TD (MD) 930m.

TD (TVD) 654m.

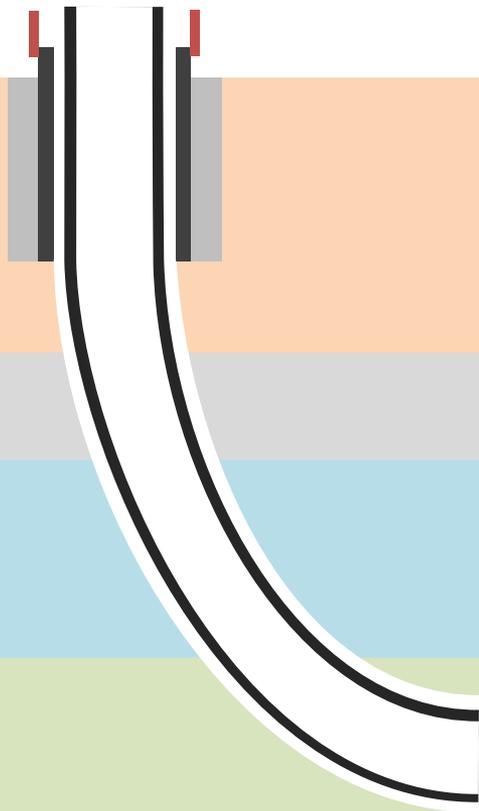
PHPA - AMINA



Perfil Intermedia

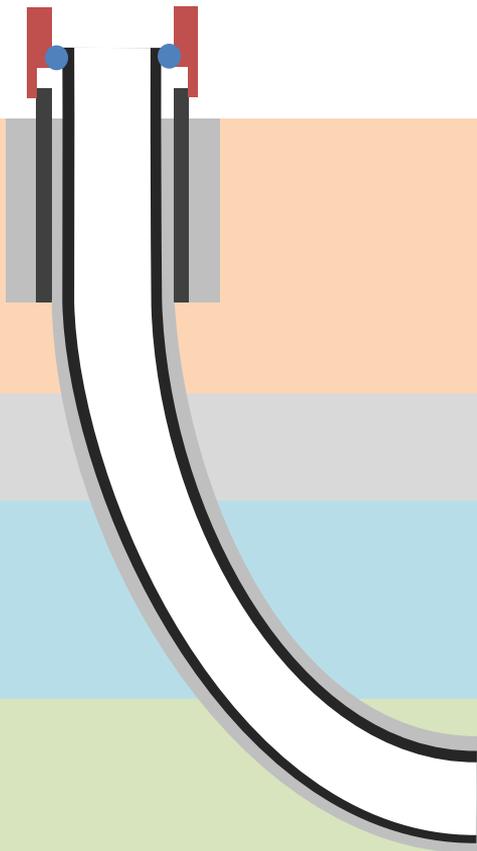
Cable

GR, RES, TEMP, SP (perfil ecológico)



Entubar Intermedia

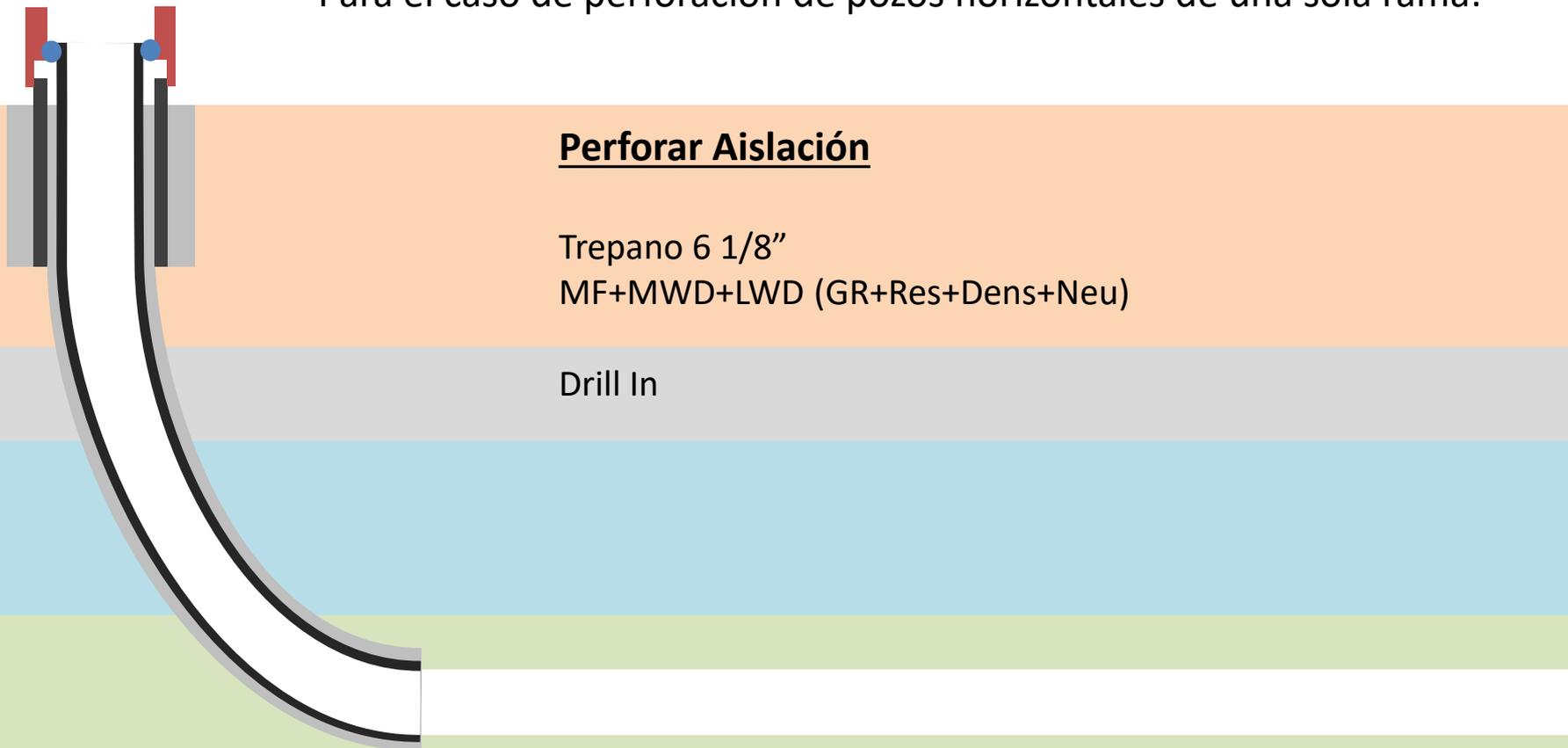
CSG 7" 29# K55 LTC



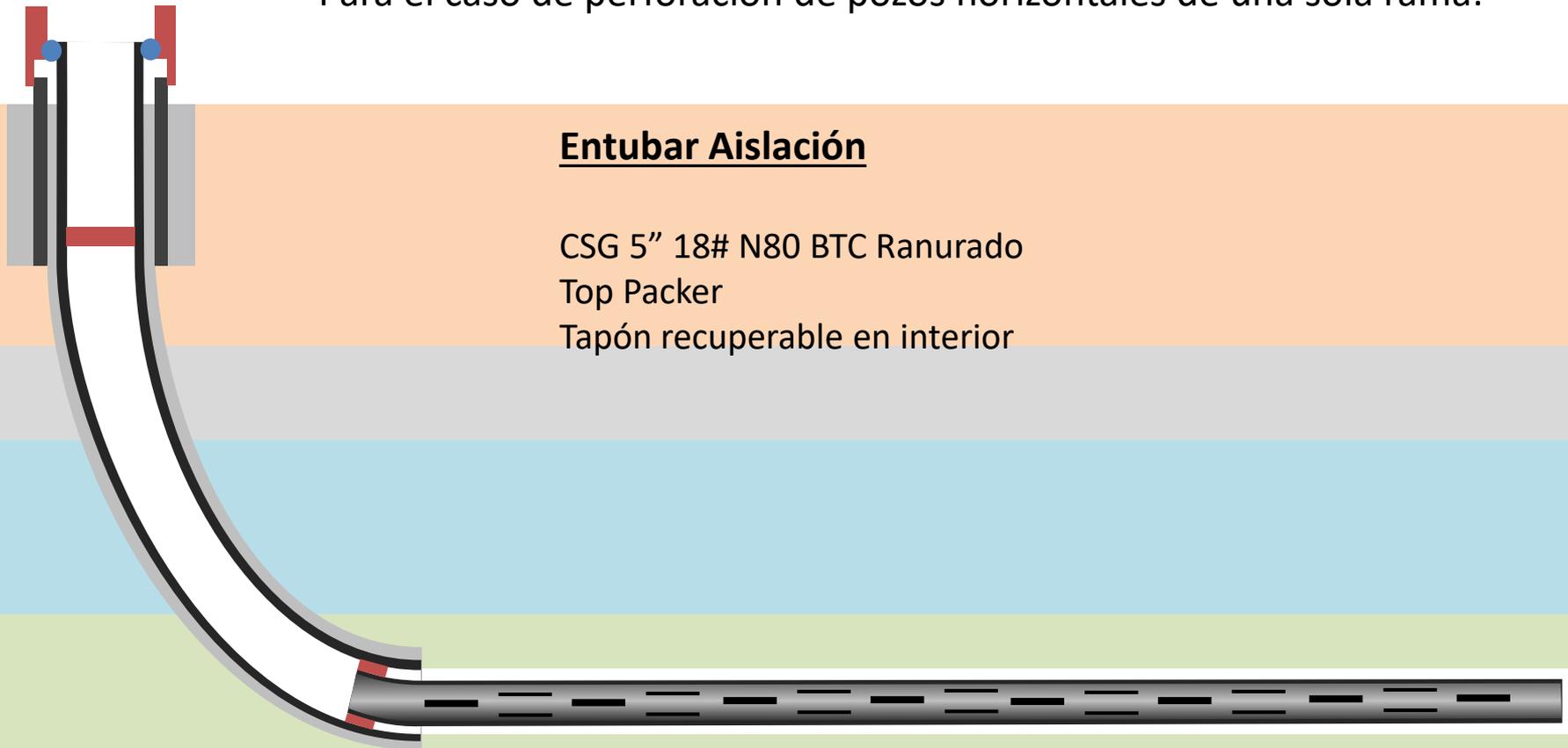
Cementar Intermedia

Cemento Clase G
Cementar a superficie
Completar por anular

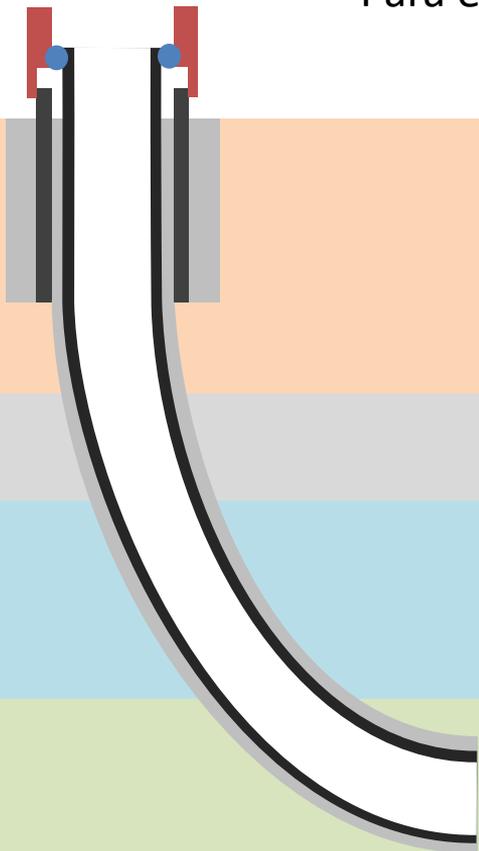
Para el caso de perforación de pozos horizontales de una sola rama:



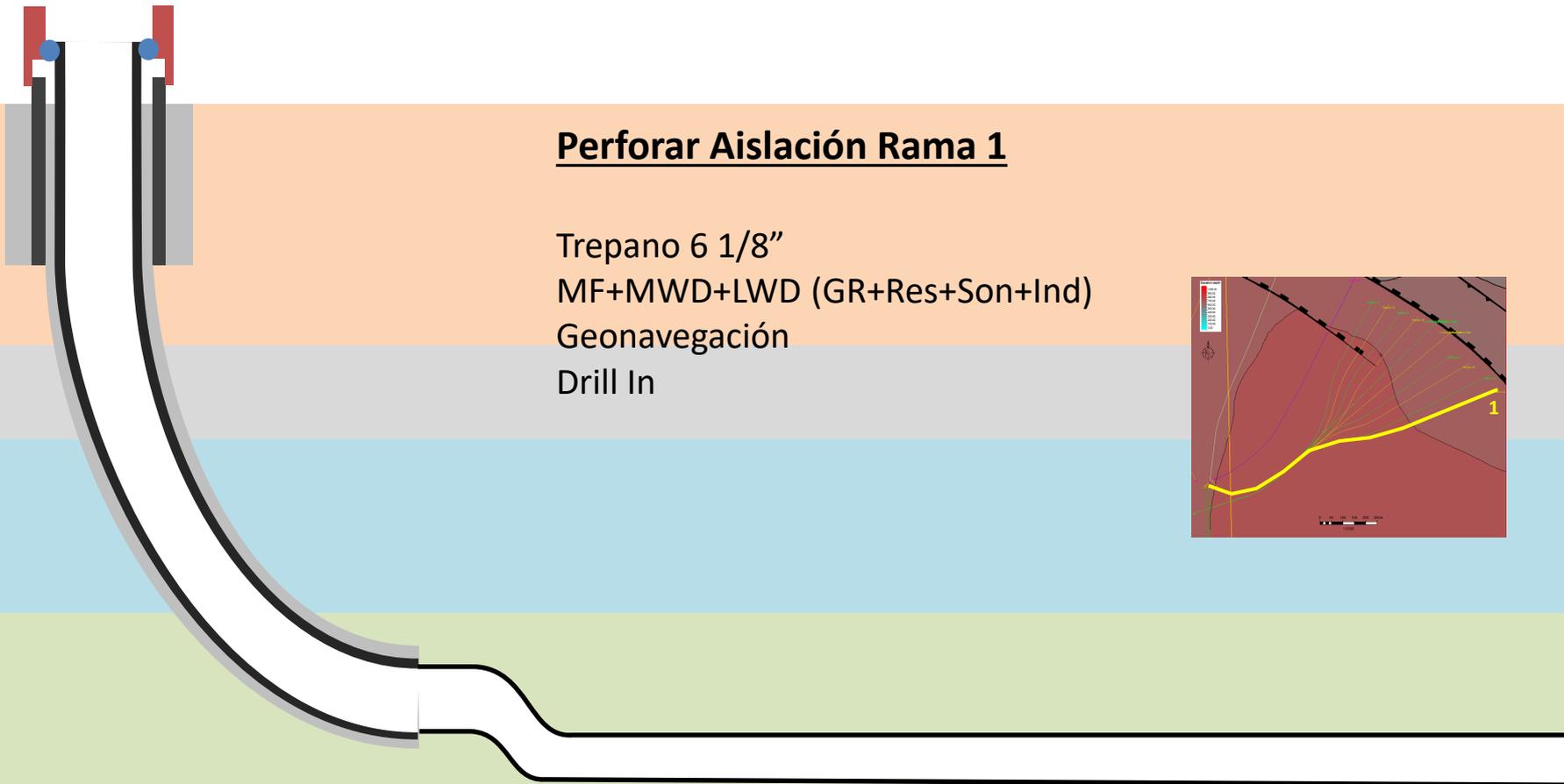
Para el caso de perforación de pozos horizontales de una sola rama:



Para el caso de perforación de pozos multidirigidos:

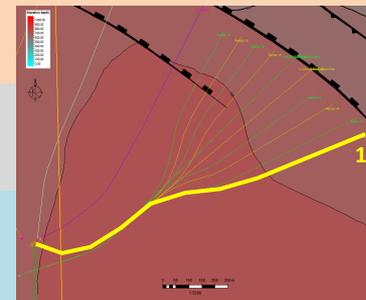


Construcción de Pozo: Cañería de Aislación – Pozo Horizontal Multidirigido

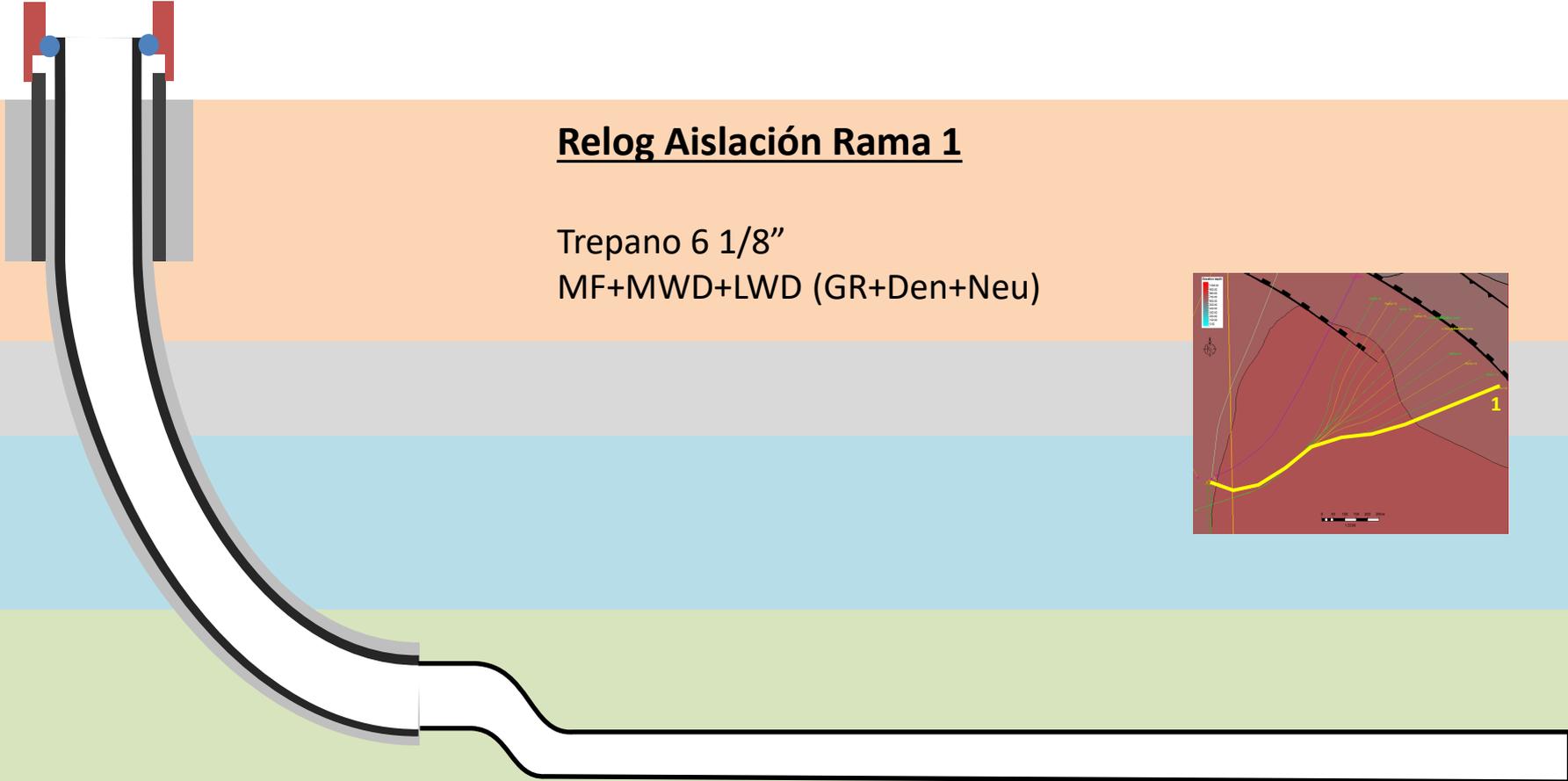


Perforar Aislación Rama 1

Trepano 6 1/8"
 MF+MWD+LWD (GR+Res+Son+Ind)
 Geonavegación
 Drill In

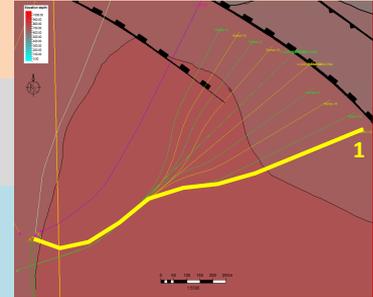


Construcción de Pozo: Cañería de Aislación – Pozo Horizontal Multidirigido

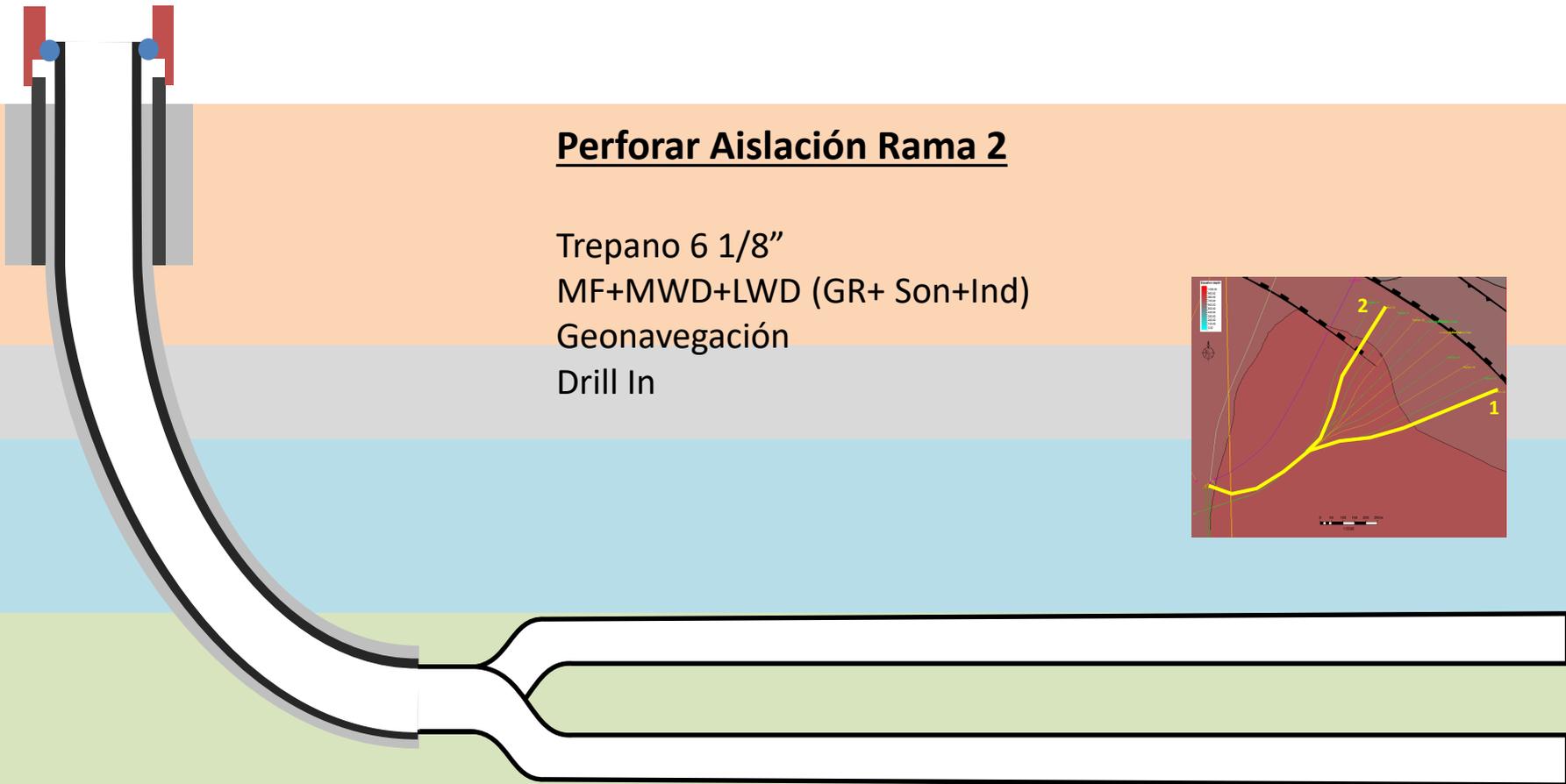


Relog Aislación Rama 1

Trepano 6 1/8"
MF+MWD+LWD (GR+Den+Neu)

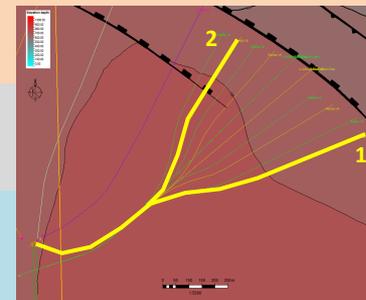


Construcción de Pozo: Cañería de Aislación – Pozo Horizontal Multidirigido

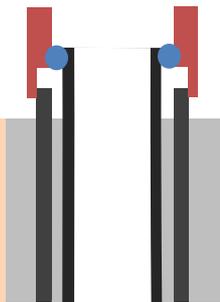


Perforar Aislación Rama 2

Trepano 6 1/8"
 MF+MWD+LWD (GR+ Son+Ind)
 Geonavegación
 Drill In

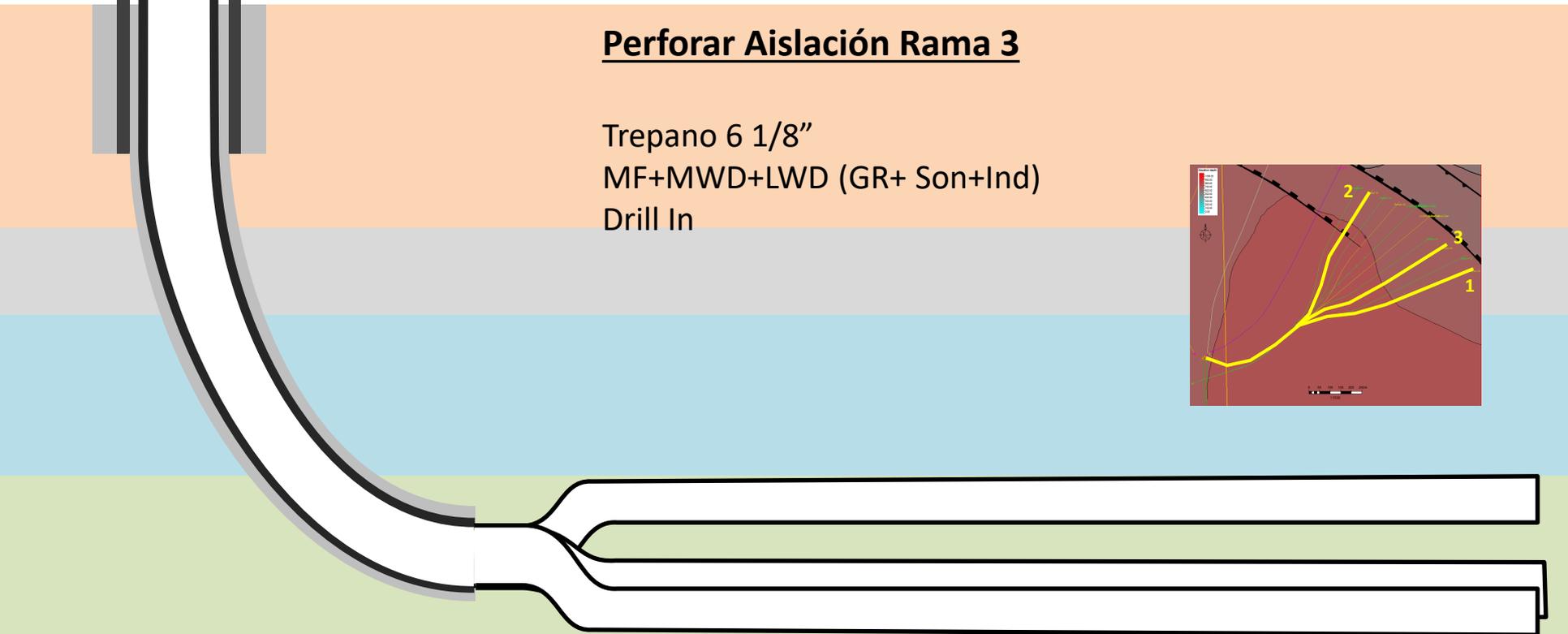
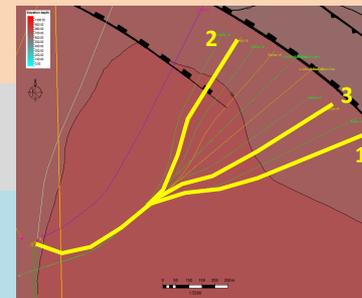


Construcción de Pozo: Cañería de Aislación – Pozo Horizontal Multidirigido

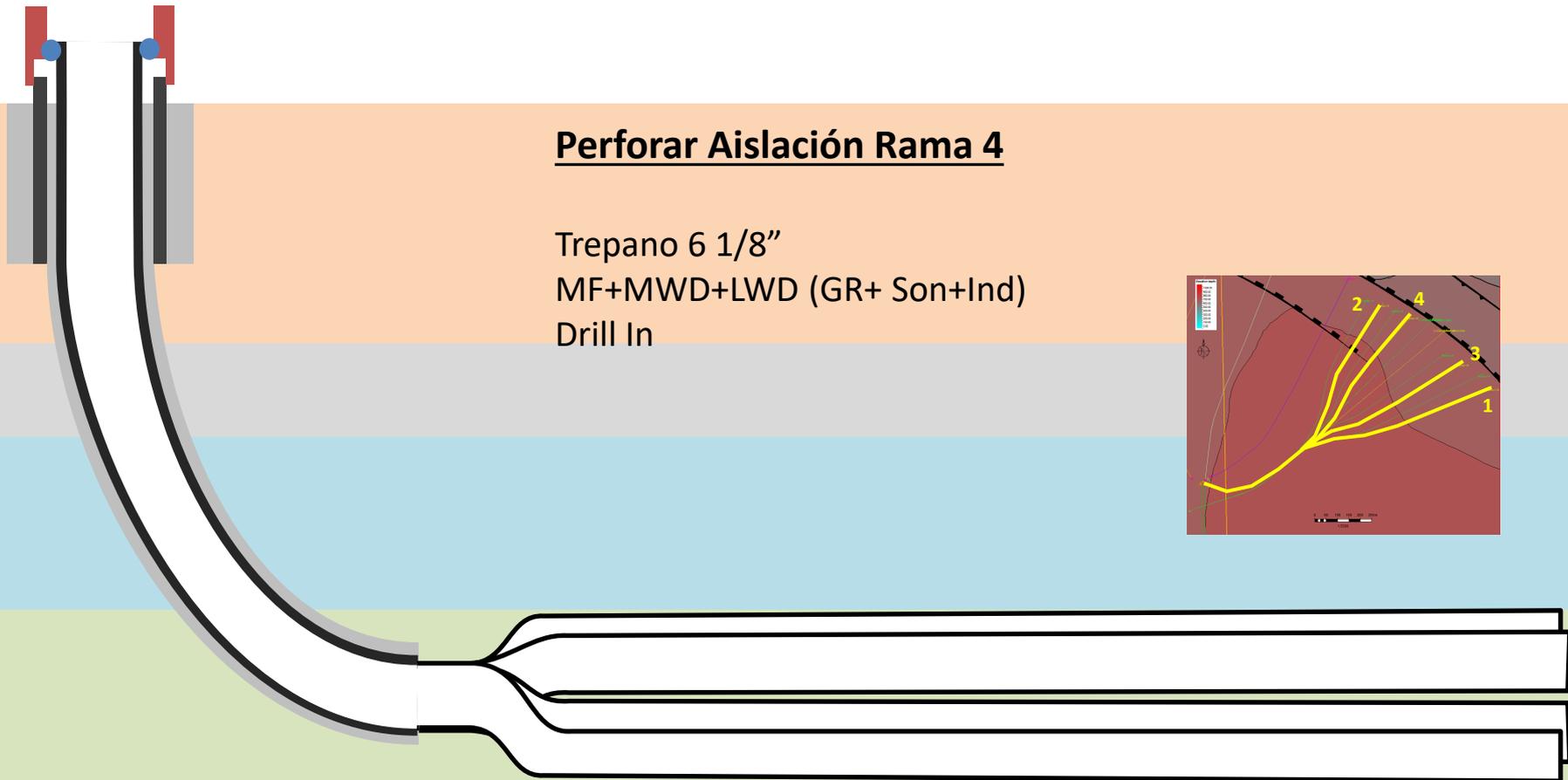


Perforar Aislación Rama 3

Trepano 6 1/8"
 MF+MWD+LWD (GR+ Son+Ind)
 Drill In

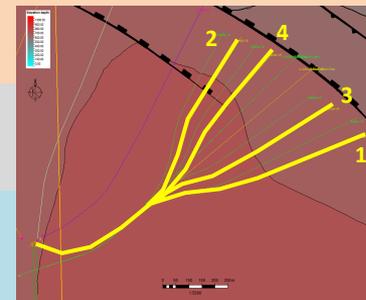


Construcción de Pozo: Cañería de Aislación – Pozo Horizontal Multidirigido

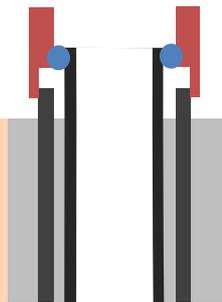


Perforar Aislación Rama 4

Trepano 6 1/8"
 MF+MWD+LWD (GR+ Son+Ind)
 Drill In

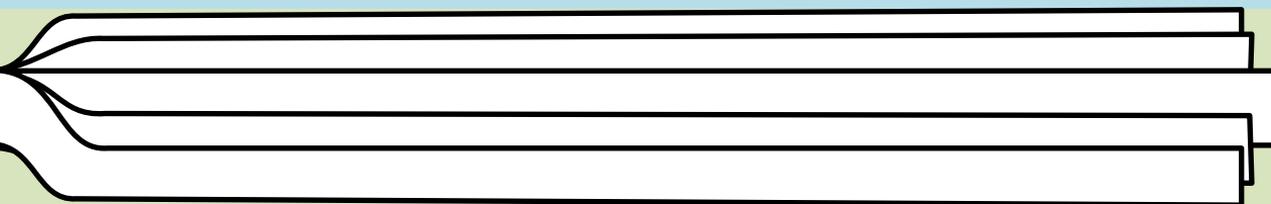
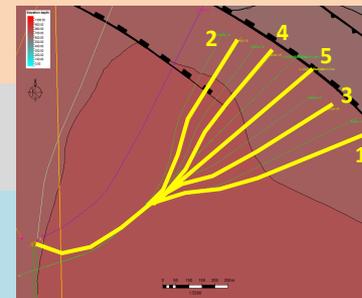


Construcción de Pozo: Cañería de Aislación – Pozo Horizontal Multidirigido

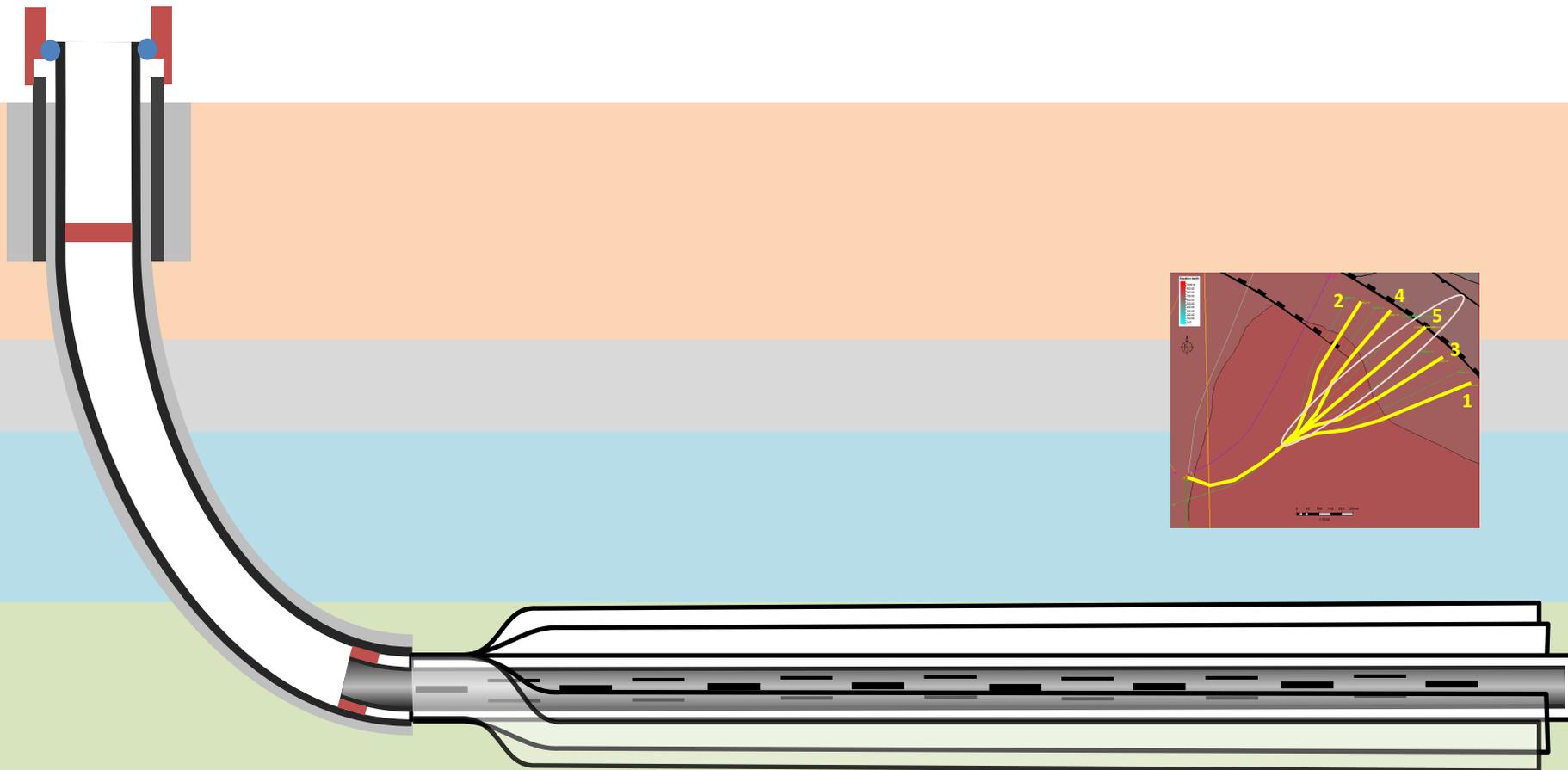


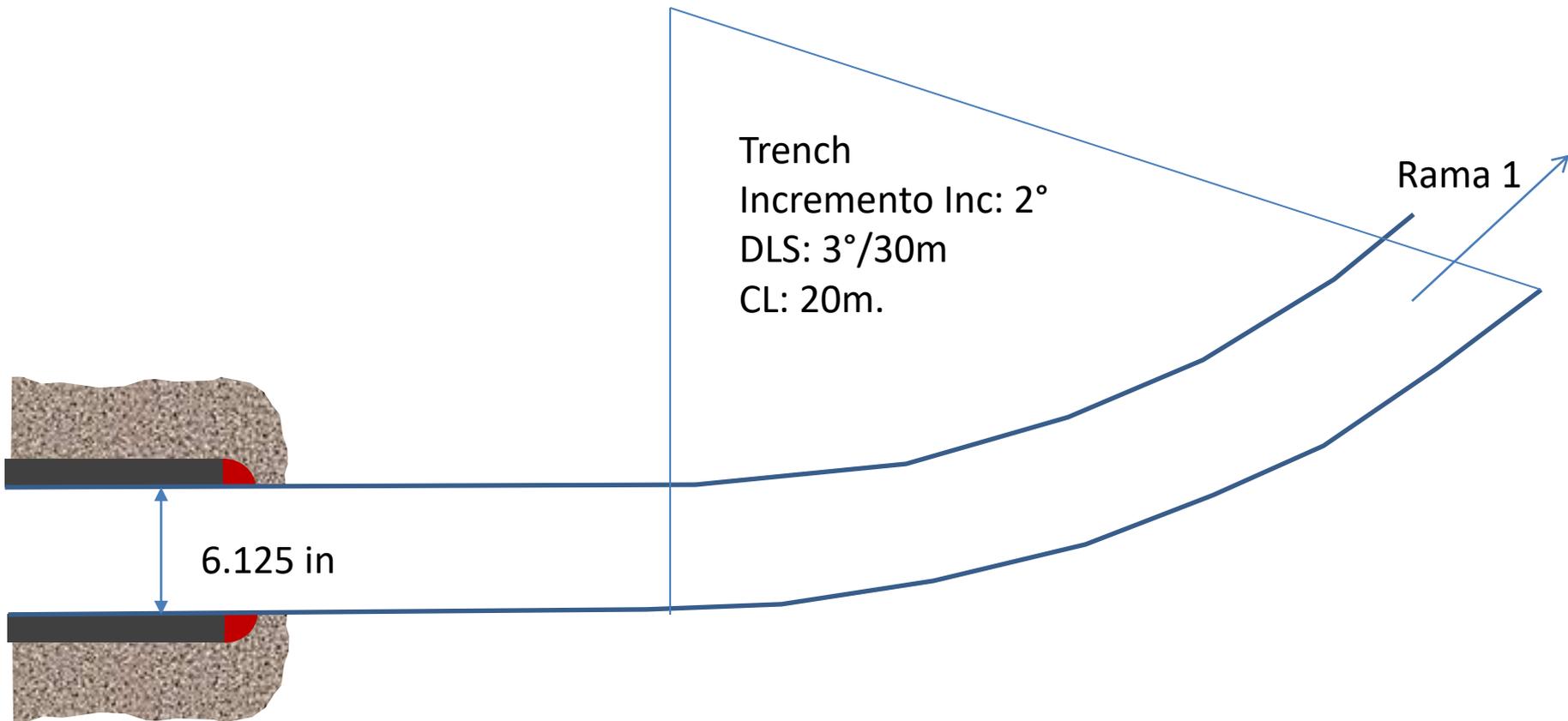
Perforar Aislación Rama 5

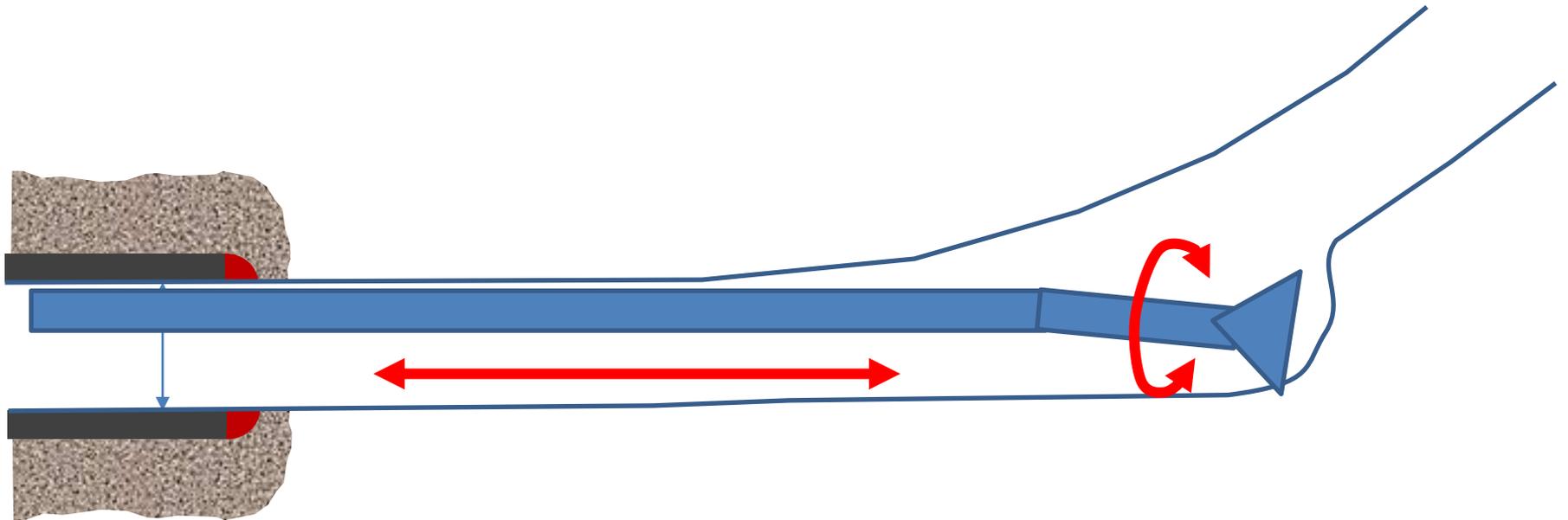
Trepano 6 1/8"
 MF+MWD+LWD (GR+Son+Ind)
 Drill In

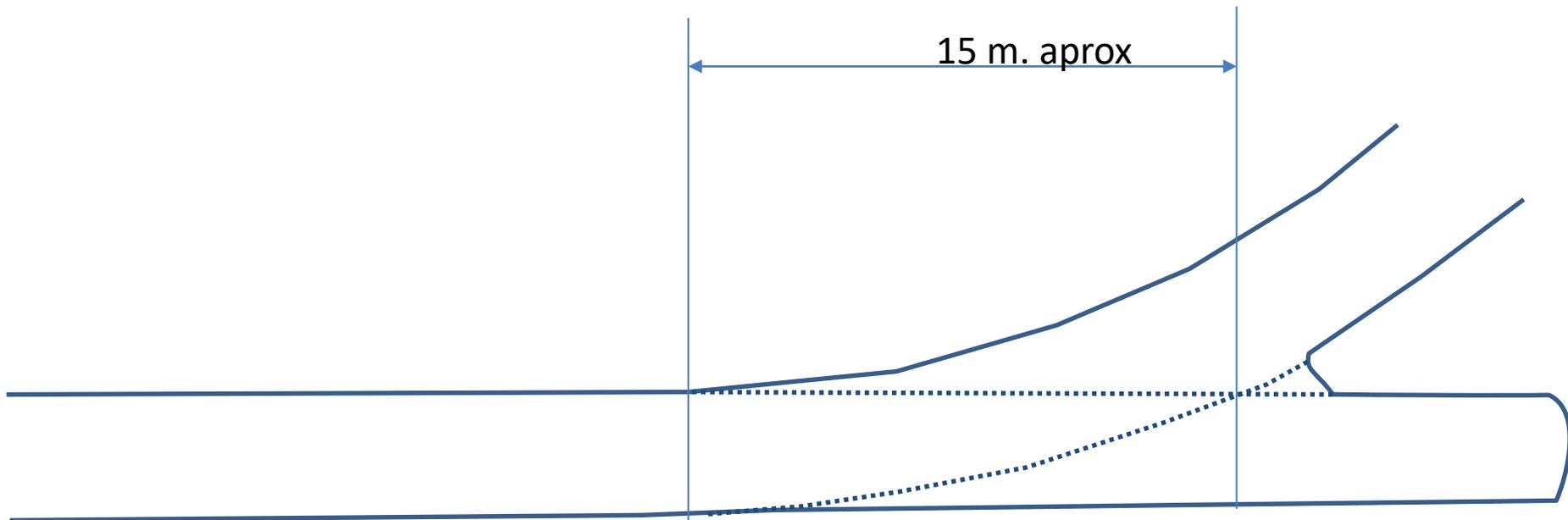


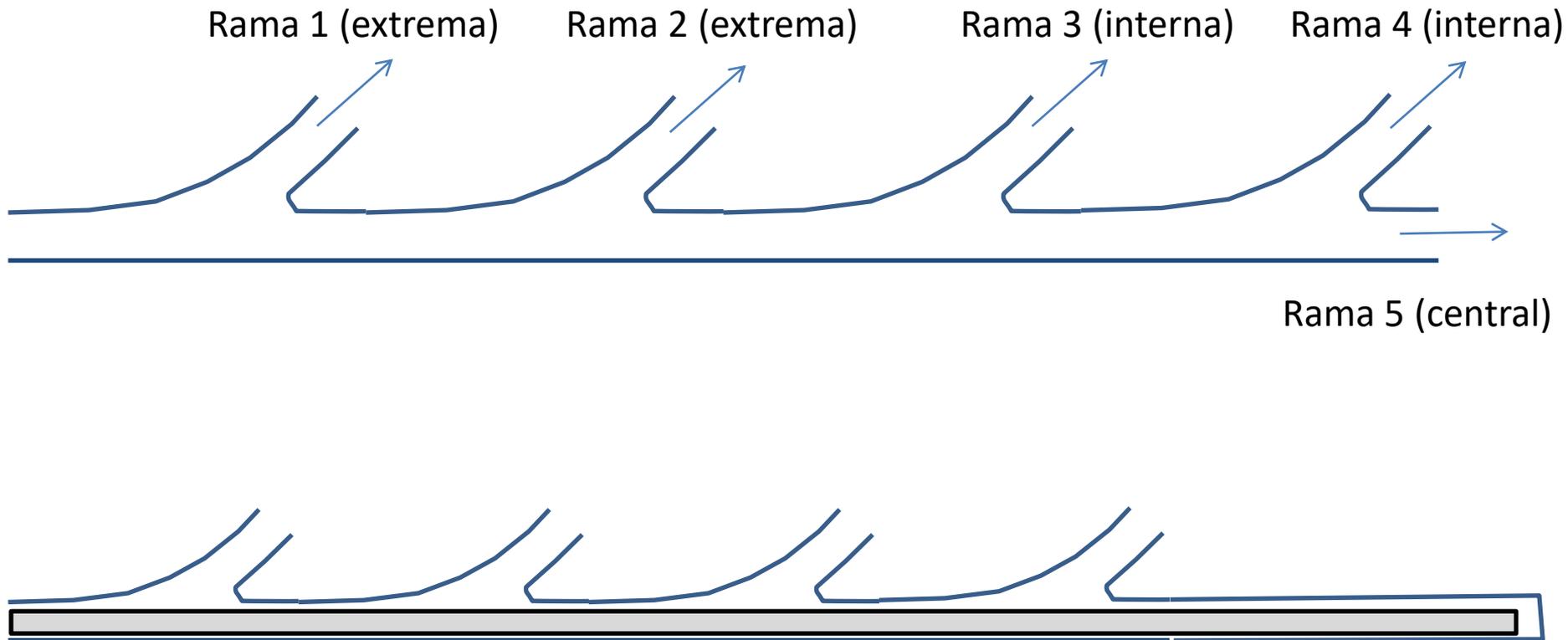
Construcción de Pozo: Cañería de Aislación – Pozo Horizontal Multidirigido

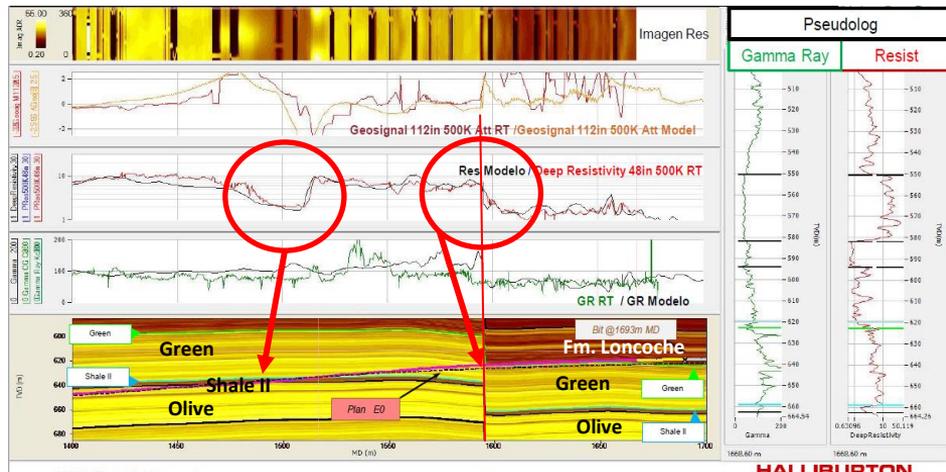
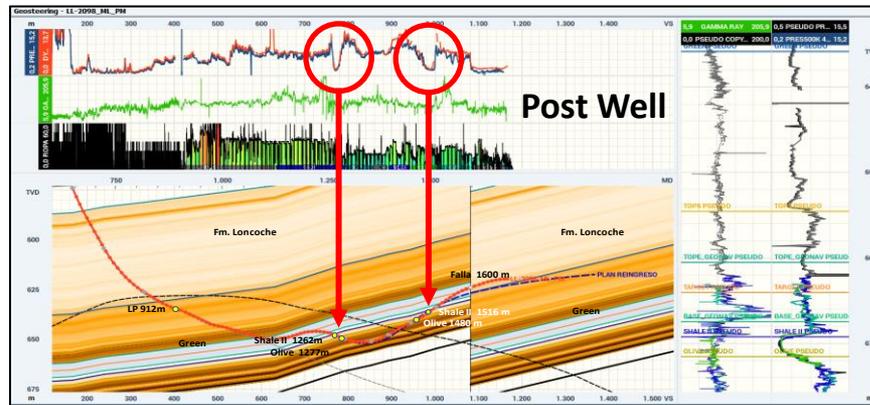
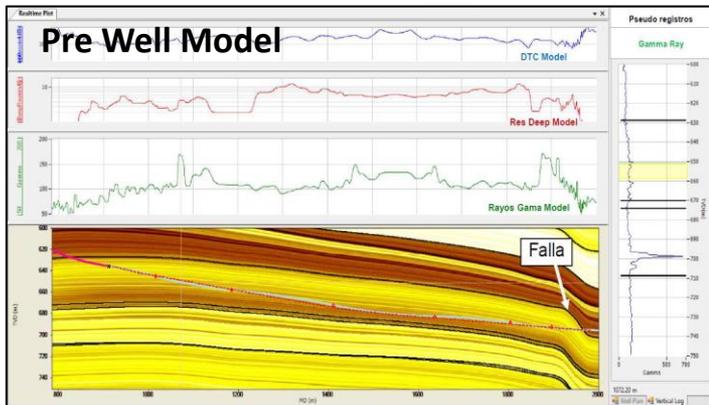


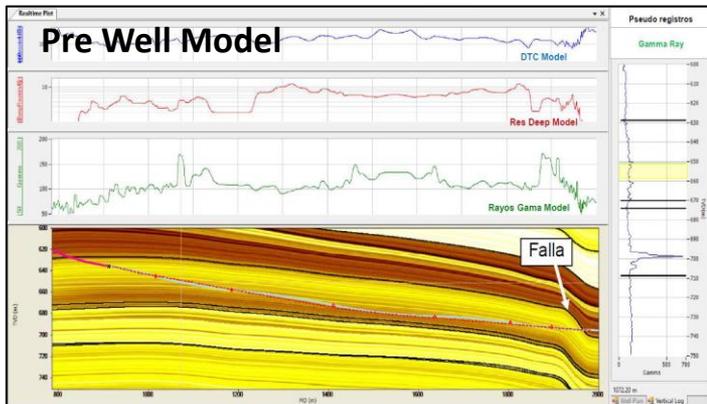










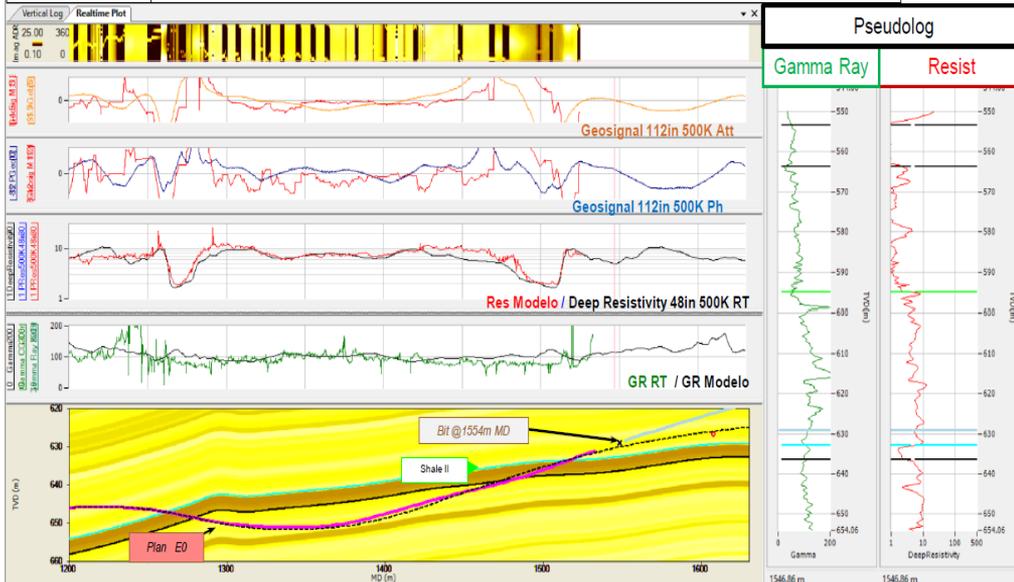


HALLIBURTON

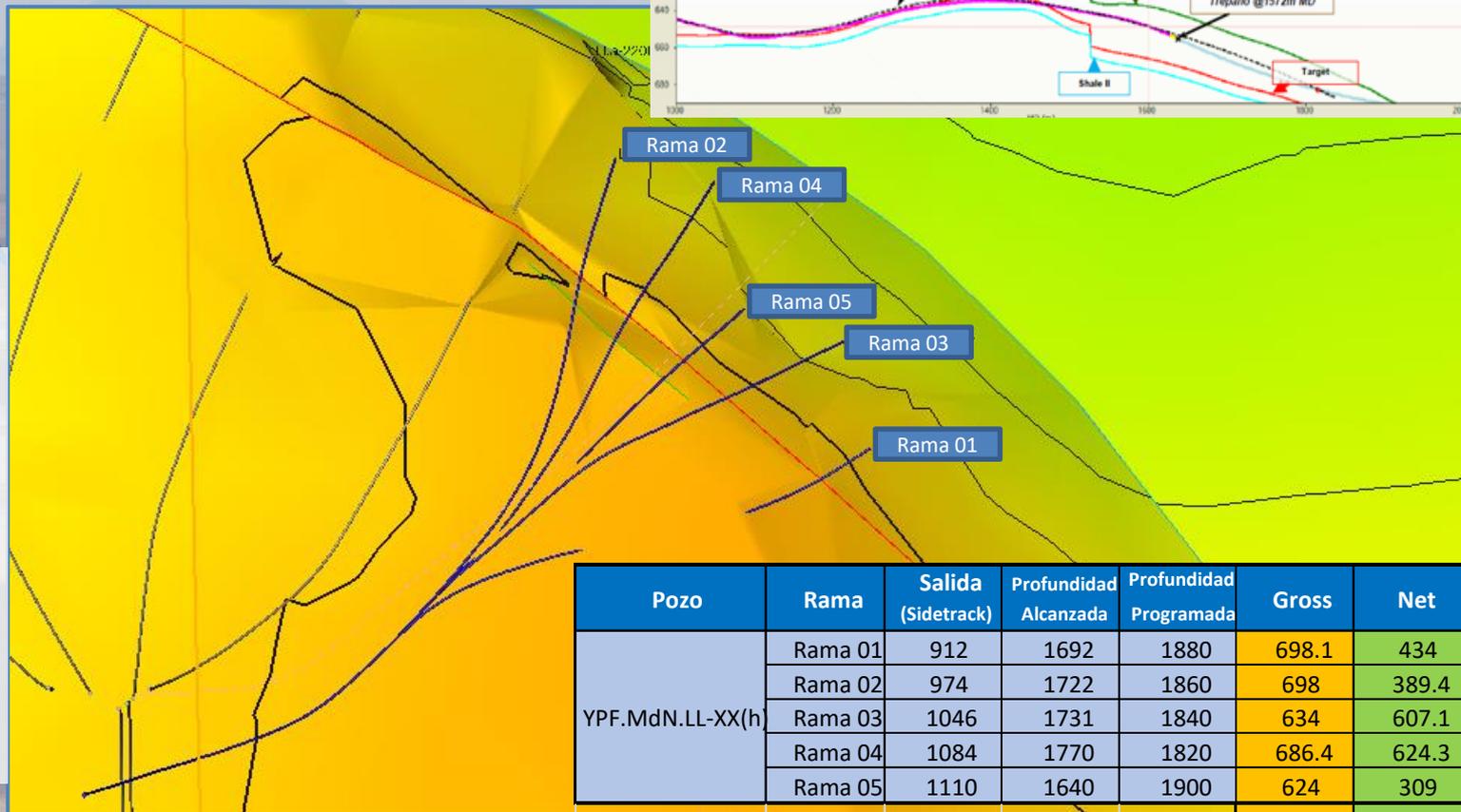
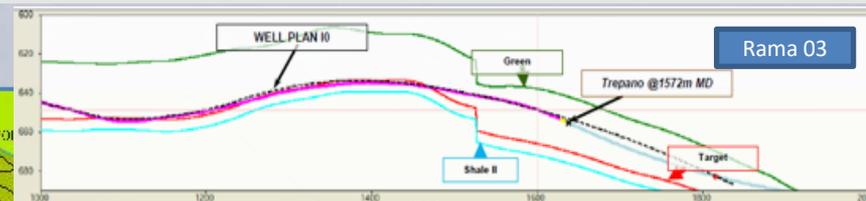
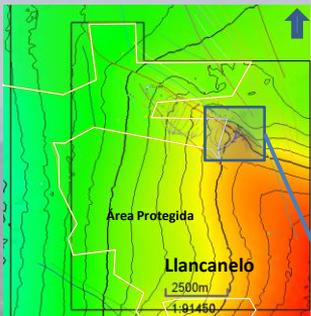
Cliente: YPF / Pozo: LL
 DES Geosteering / Pozos de Referencia:
 Geonavegadores: Max LLanes/ Emmanuel Agüero



Objetivos		Resumen : LL	Ubicación Actual
Aterrizar dentro de la Fm. Grupo Neuquén Green	<ol style="list-style-type: none"> Se estima un buzamiento aparente -3.5° ascendente en dirección del pozo hasta 1297m MD A partir de 1297m MD se observa un buzamiento aparente menor a 3° en dirección del pozo, realizando trabajo direccional para alcanzar la base de la unidad GREEN. 	<ol style="list-style-type: none"> En 1281.75m MD/647.13m TVD se registra por perfil el ingreso por el tope de la unidad SHALE II. En 1277.30m MD/648.48m TVD se registra por perfil el ingreso por el tope de la unidad OLIVE. Se mantuvo aprox. 200m MD dentro de la Unidad Olive. En 1480m MD/638.76m TVD se registra por perfil el ingreso por la base de la unidad SHALE II. En 1516m MD/633.60m TVD se registra por perfil el ingreso por la base de la unidad OLIVE. 	Profundidad Actual: 1554m MD Ultimo Survey: 1539.86 m MD 97.93° Inc 67.26° Azi 630.19m TVD
			Actual: Perforando en MD @ 1554 m MD



Pozos Multidirigidos – Resultado Final

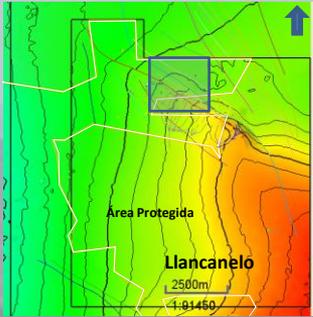


Pozo	Rama	Salida (Sidetrack)	Profundidad Alcanzada	Profundidad Programada	Gross	Net
YPF.MdN.LL-XX(h)	Rama 01	912	1692	1880	698.1	434
	Rama 02	974	1722	1860	698	389.4
	Rama 03	1046	1731	1840	634	607.1
	Rama 04	1084	1770	1820	686.4	624.3
	Rama 05	1110	1640	1900	624	309
					3340.5	2363.8

LL-XXh:

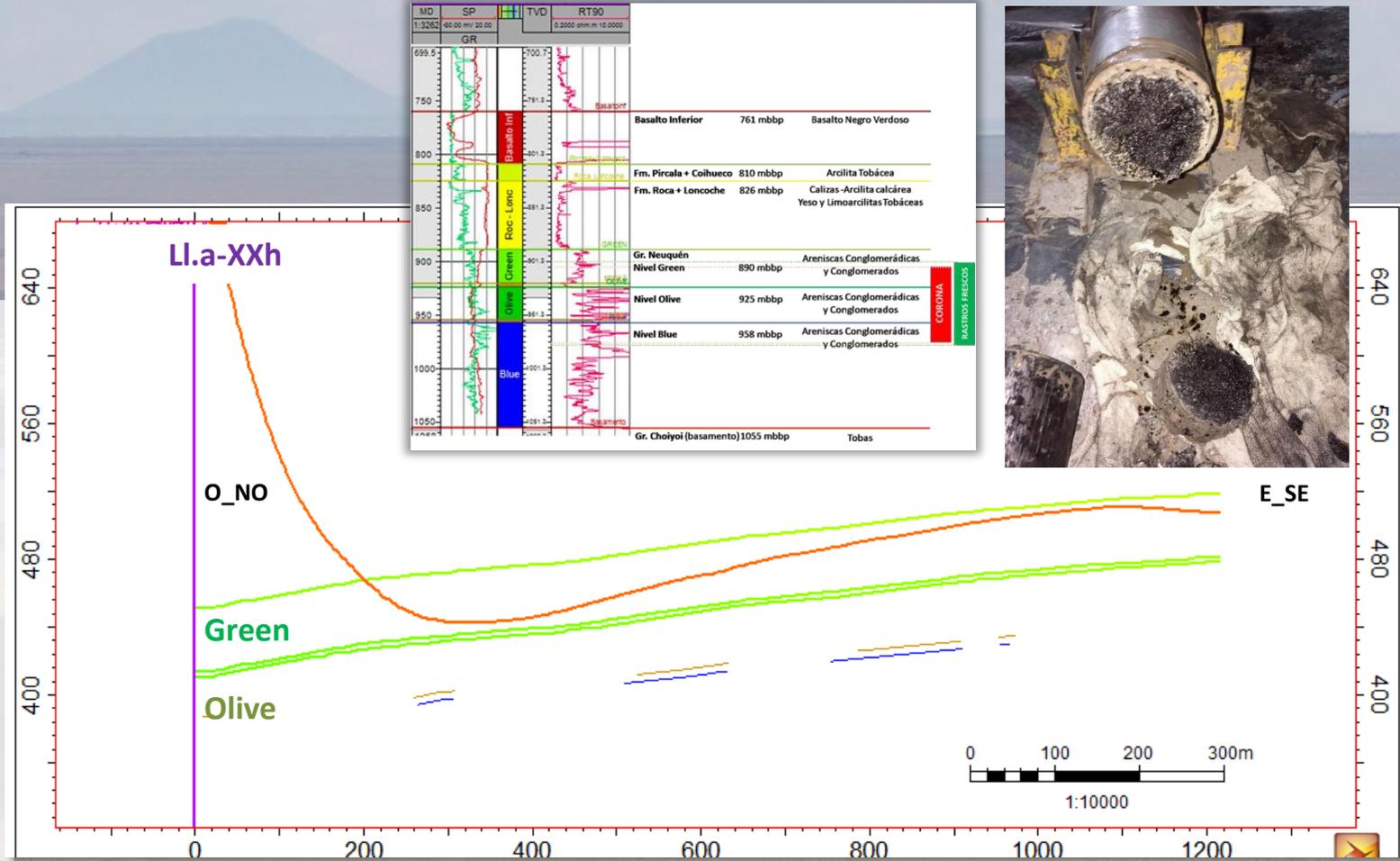
- Pozo Geonavegado en la base del Nivel GREEN, sección Superior del Gr. Neuquén.
- El LP (punto de aterrizaje – zapato de la Sección Intermedia) se fijó en 912 m en MD (635,8 m en TVD).
- El espesor del Green, esperado para este sector, varía entre 33 y 38 m y se contactó su tope en 834 m en MD (629 m TVD), dato obtenido por perfiles y por Control Geológico.
- La ventana de Geonavegación (Target) varió entre 6 y 10 m.
- Perforado durante el mes de Setiembre del año 2019.

Pozos Horizontal con Corona – Resultado Final



LL.a-XXh:

- Pozo Geonavegado en el Nivel GREEN, sección Superior del Gr. Neuquén.
- El LP (punto de aterrizaje – zapato de la Sección Intermedia) se fijó en 1090 m en MD (898 m en TVD). La TD es de 1968 m (MD)
- El espesor del Green, esperado para este sector, varía entre 31 y 33 m y se contactó su tope en 994,5 en MD (872,5 m TVD), dato obtenido por perfiles y por Control Geológico.
- La ventana de Geonavegación (Target) varió entre 6 y 8 m.
- Perforado durante el mes de Noviembre / Diciembre del 2019.



- **Llancanelo es un yacimiento con características desafiantes.**
- **Estas particularidades exigen la aplicación de nuevas estrategias de explotación para alcanzar un desarrollo sustentable, tanto en el aspecto ambiental, como en el económico.**
- **La oportunidad es extraordinaria en cuanto al recurso asociado.**
- **Estamos dando los primeros pasos en la aplicación de dos tecnologías:**
 - **Calentamiento eléctrico en fondo: Buenos resultados en incremento de producción asociados a un alto requerimiento de potencia eléctrica.**
 - **Pozos Multi-Dirigidos: El piloto inicial de pozos mostró resultados positivos en cuanto a la geología y construcción de los pozos. Los primeros datos de producción evidenciaron problemas de arenamiento. Actualmente se está trabajando en nuevos diseños de pozos multi entubados.**

An aerial photograph showing a large, dark, rectangular industrial site, possibly a refinery or processing plant, situated in a vast, flat, green landscape. The site is surrounded by a dirt road and has several buildings and structures. The background features a range of mountains under a blue sky with scattered clouds.

YPF

NUESTRA ENERGÍA