

Aspectos de producción

Ing. Armando Méndez Castro

Octubre, 2013

- ¿Qué es un pozo petrolero?
- ¿Cuántos tipos de pozos petroleros existen?
- ¿Qué es la infraestructura petrolera?
- ¿En qué consiste la perforación y terminación de pozos petroleros?
- ¿Qué infraestructura se requiere para perforar y terminar un pozo petrolero?
- ¿Cómo se realiza la perforación y terminación de pozos petroleros?
- ¿Y para el caso de formaciones de *shale gas/oil*?
- ¿Cuáles son los factores clave para el caso de *shale gas/oil*?
- ¿Cuánta agua requiero y cómo protejo al medio ambiente?
- ¿Qué experiencias se tienen en perforación y terminación de pozos petroleros en *shale gas/oil*?
- Y después de la perforación, ¿qué sigue?, ¿cómo anticipo la producción de gas y aceite?

¿Qué es un pozo petrolero?

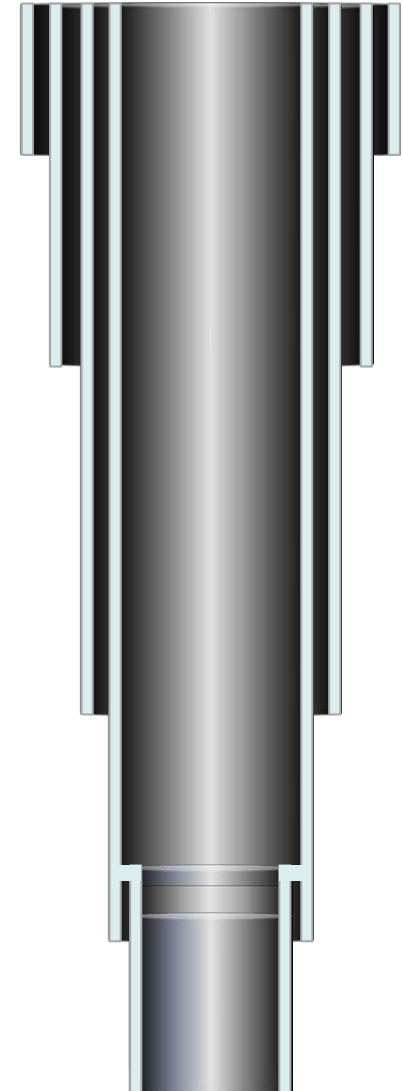
La única manera de saber realmente si hay hidrocarburos en el sitio, donde la investigación sísmica y geológica propone que se podría localizar un depósito de hidrocarburos, es mediante la perforación de un pozo petrolero.



Definición de pozo petrolero

- Un pozo petrolero es una obra de ingeniería encaminada a poner en contacto un yacimiento de hidrocarburos con la superficie.
- Es una perforación efectuada en el subsuelo con barrenas de diferentes diámetros y con revestimiento de tuberías, a diversas profundidades, llamadas etapas de perforación, para la prospección o explotación de yacimientos petroleros.

| Diámetro de agujero o barrena (pulgadas) | Etapas o tubería | Diámetro de tubería (pulgadas) | Profundidad de asentamiento (metros) |
|--|------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| 36 | Conductora | 30 | 80 – 150 |
| 26 | Superficial | 20 | 600 – 1,000 |
| 17 ½ | Intermedia | 16 – 13 3/8 | 1,800 – 2,400 |
| 12 ¼ | Intermedia | 9 5/8 | 2,800 – 3,200 |
| 8 ½ | Explotación | 7 | 4,000 – 5,000 |





¿Cuántos tipos de pozos petroleros existen?

No hay una clasificación típica de los tipos de pozos que funcione como algo definitivo. Debido a eso, los pozos se pueden clasificar de varias maneras.

Por su objetivo:

- Sondeo estratigráfico
- Exploratorio
- Delimitador
- Desarrollo

Por su ubicación:

- Terrestre
- Marino aguas someras
- Marino aguas profundas
- Lacustre

Por su trayectoria:

- Vertical
- Direccional
- Horizontal
- Multilateral
- Alcance extendido

Por su función:

- Productor
- Inyector
- Letrina
- Alivio

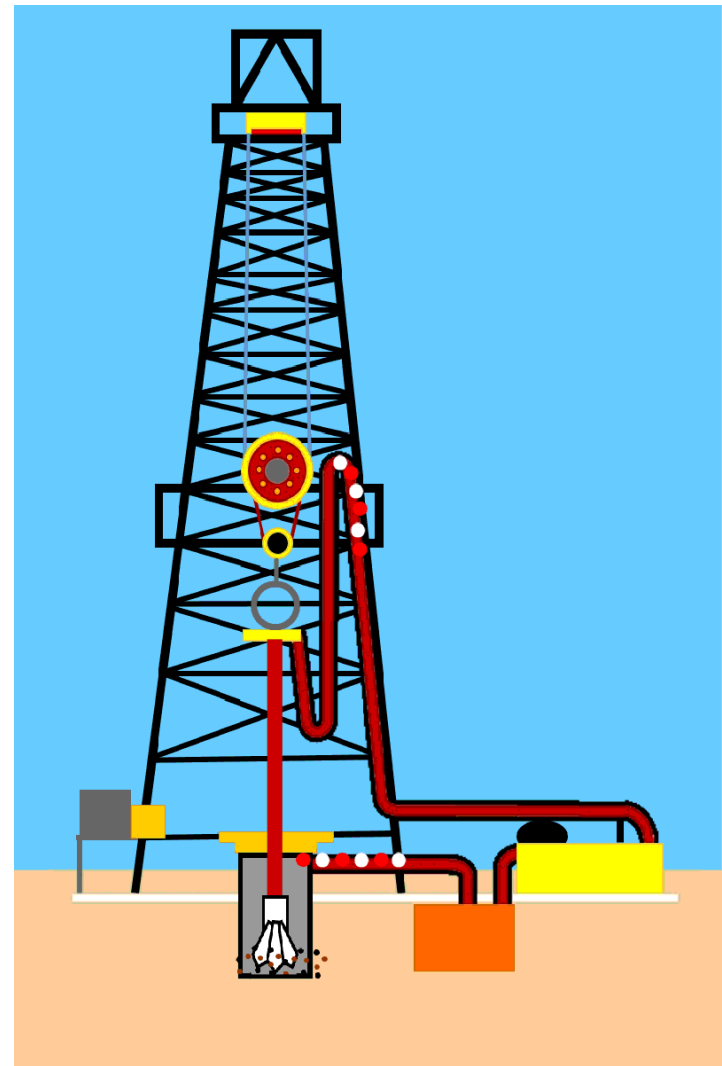
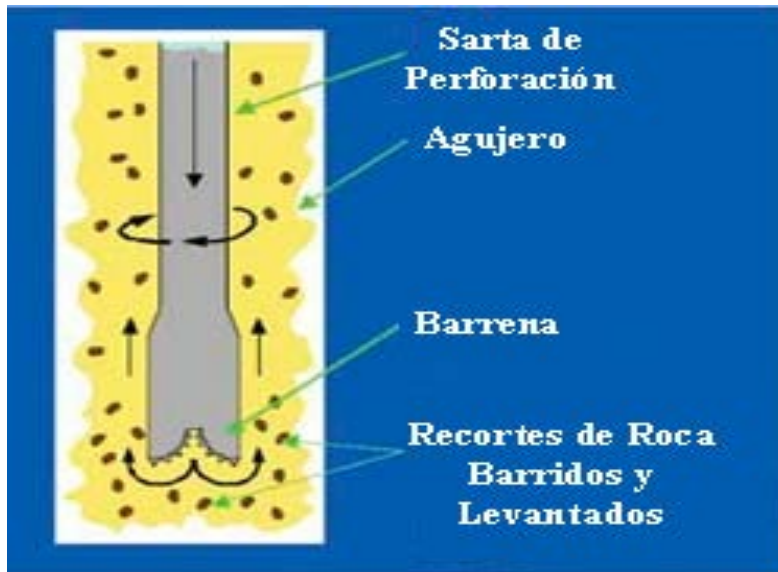
¿Qué es la infraestructura petrolera?

Infraestructura petrolera

Son todas las instalaciones utilizadas en el proceso de explotación del gas y petróleo.

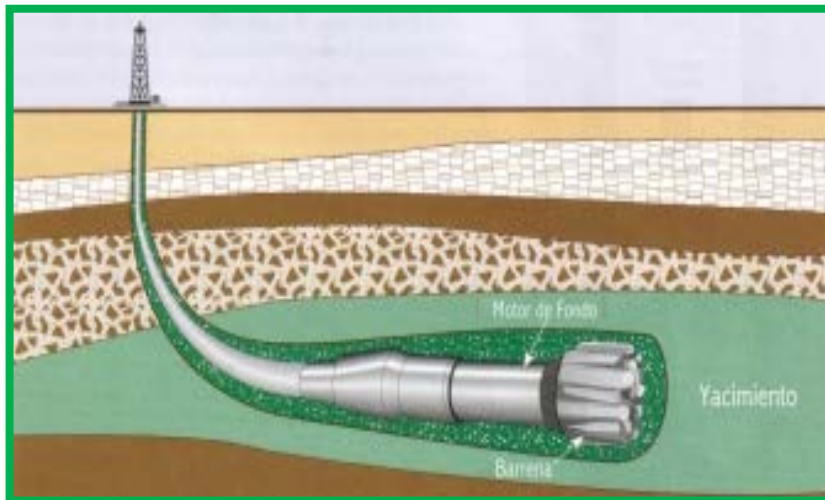


- El proceso de perforación consiste en hacer un agujero mediante la rotación de la sarta de perforación y la aplicación de una fuerza de empuje en el fondo, utilizando una barrena.
- La perforación rotatoria consiste en realizar un agujero por medio de un movimiento rotatorio y una fuerza de empuje de la barrena sobre la roca, convirtiéndola en recortes.

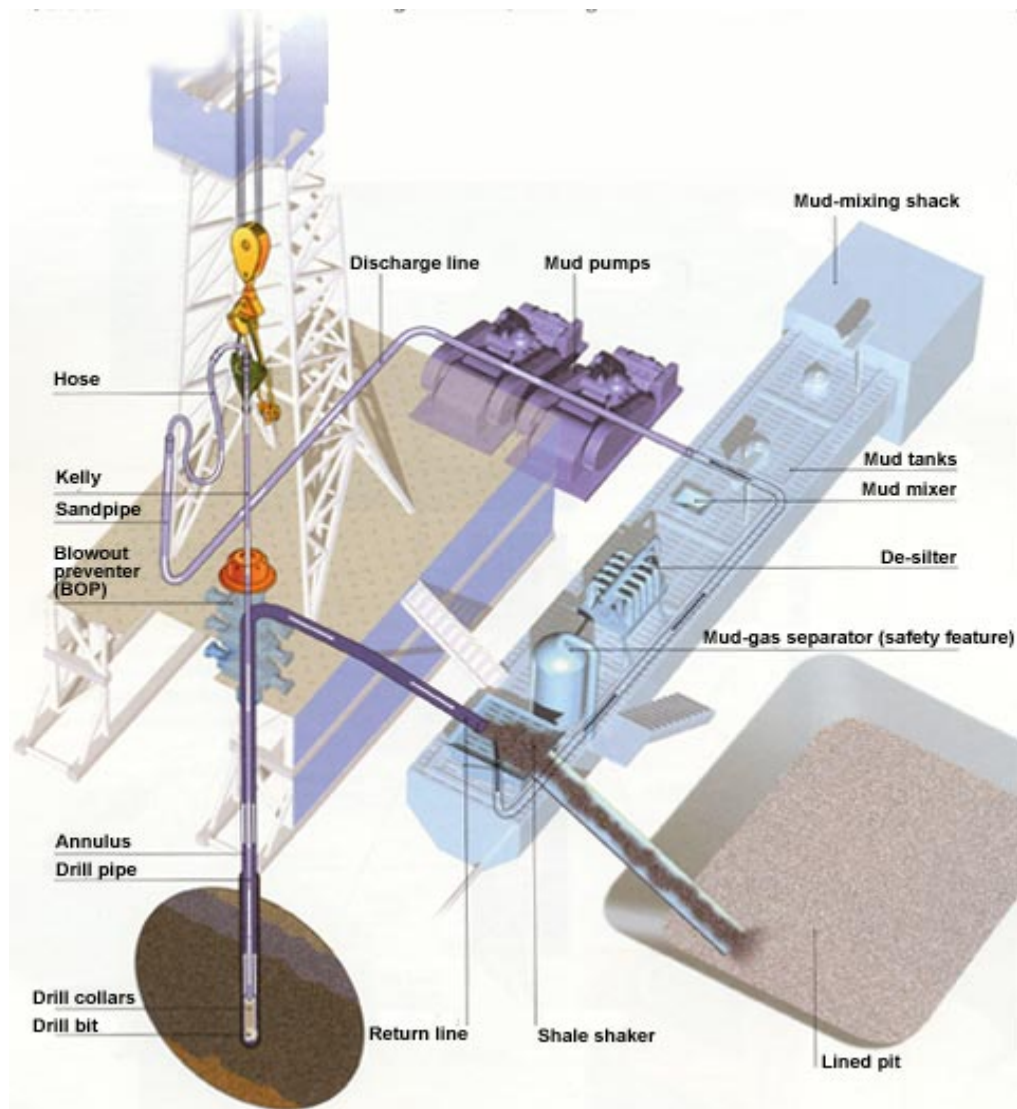


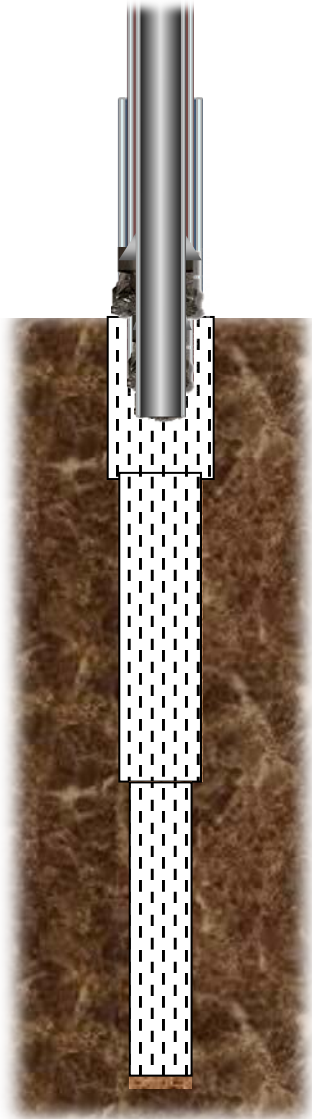
¿En qué consiste la perforación?

- El movimiento rotatorio se puede generar y aplicar en la superficie a través de una máquina rotatoria y se transmite por medio de la sarta de perforación, o bien, en forma hidráulica mediante la acción de un motor de fondo, el cual está conectado a la barrena.
- La fuerza de empuje se genera con el mismo peso de la sarta de perforación.
- Se inyecta un fluido a través del interior de la tubería que conforma la sarta y regresa a la superficie por el espacio anular que va dejando la perforación.



- El fluido de perforación sirve como conductor de los recortes que van surgiendo, para ser llevados a la superficie.
- Ya que el fluido está en la superficie se le separan los recortes, donde finalmente circula por el sistema de presas para posteriormente iniciar un nuevo ciclo.
- La operación de hacer un agujero es una tarea bastante compleja y costosa, por lo que debe ser planeada y ejecutada en una forma segura y eficiente.
- El objetivo final es que se obtenga un pozo con las mejores condiciones técnicas, al menor costo posible y que permita conducir los hidrocarburos a la superficie.





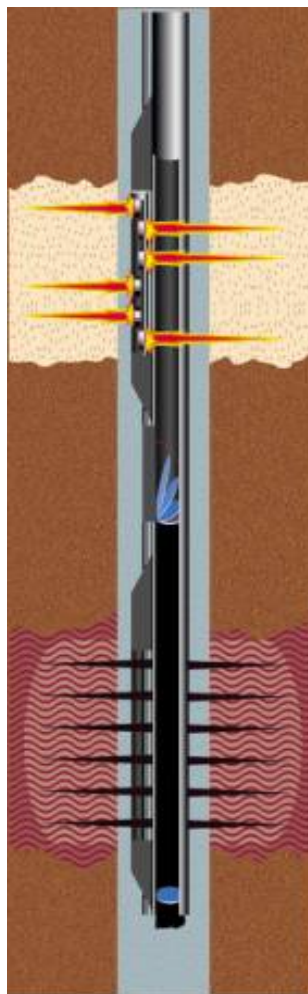
(1) Perforar (hacer agujero)

(2) Introducir tubería de revestimiento

(3) Cementar tubería

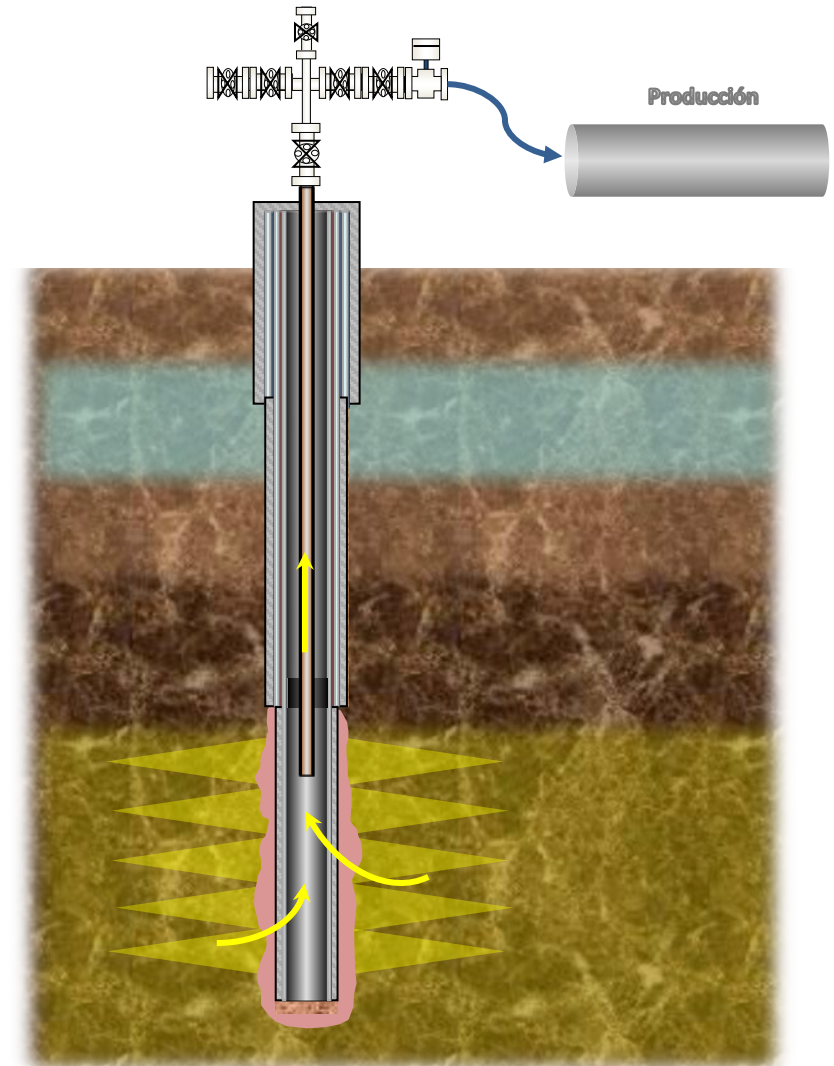
Terminación del pozo

- Una vez concluida la perforación, inicia la etapa que se conoce como terminación del pozo.
- Se entiende por terminación a las actividades encaminadas a explotar los yacimientos, a través de las tuberías de revestimiento de explotación, para dejarlo produciendo por el método más conveniente.
- Básicamente, una terminación consiste en establecer en forma controlada y segura la comunicación entre el yacimiento y la superficie, generalmente a través de canales de flujo generados por medio de disparos con cargas explosivas.



Terminación del pozo

- Se introduce una tubería de producción al pozo, con un empacador para aislar la zona productora de los demás componentes tubulares del pozo.
- Finalmente el pozo es puesto en producción y alineado a las instalaciones superficiales de producción.





¿Qué infraestructura se requiere para perforar y terminar un pozo petrolero?

El equipo de perforación rotatoria

Sin importar que clase de equipo de perforación se seleccione para perforar un pozo, todos ellos cuentan con los siguientes componentes principales:

- Sistema de potencia: generadores y motores para malacate, bombas y rotaria
- Sistema de izaje: malacate, corona, block viajero, cable y equipo auxiliar (gancho, gafas y elevadores)
- Mástil y subestructura
- Sistema de rotación: Kelly, rotaria, unión giratoria o swivel y manguera
- Sistema circulatorio
- Sistema de preventores
- Sarta de perforación
- Barrena

El equipo de perforación y sus componentes principales

Corona

Block de la corona

Torre

Block viajero

Gancho

Tubería de perforación

Motores generadores

Malacate

Bombas de lodo

Mesa rotaria

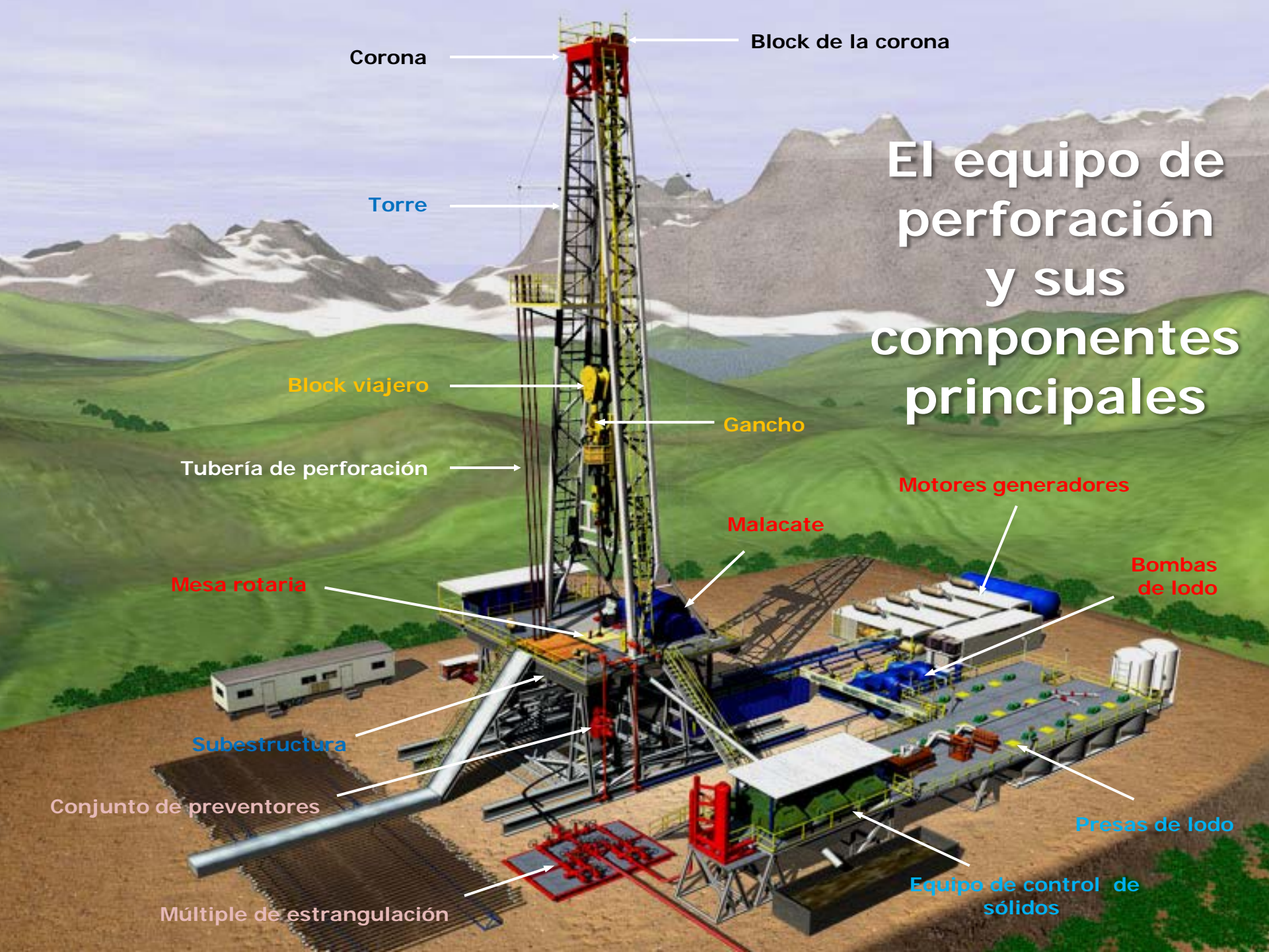
Subestructura

Conjunto de preventores

Presas de lodo

Múltiple de estrangulación

Equipo de control de sólidos



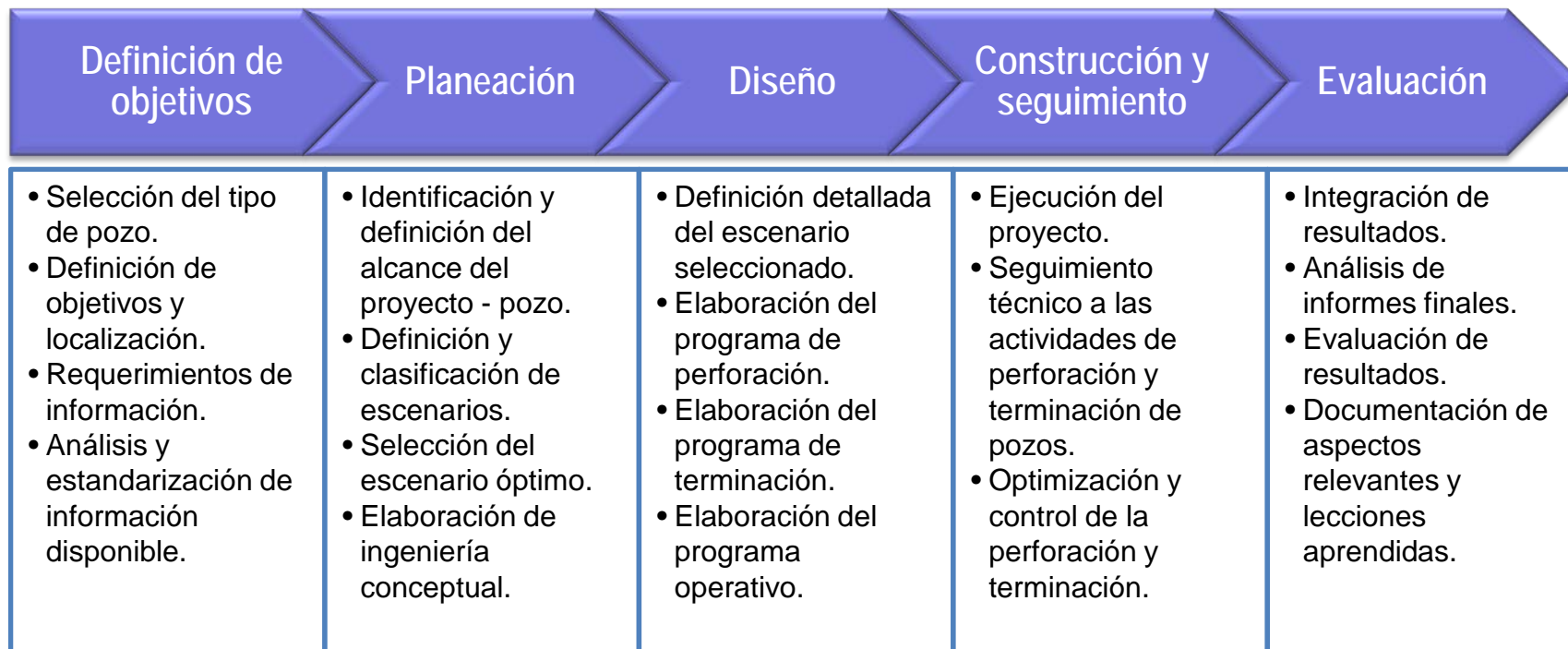
Barrena y sarta de perforación



Equipo complementario

- Unidad de cementaciones
- Equipo de registros geofísicos
- Equipo de fracturamiento hidráulico
- Unidad de disparos
- Unidad de tubería flexible





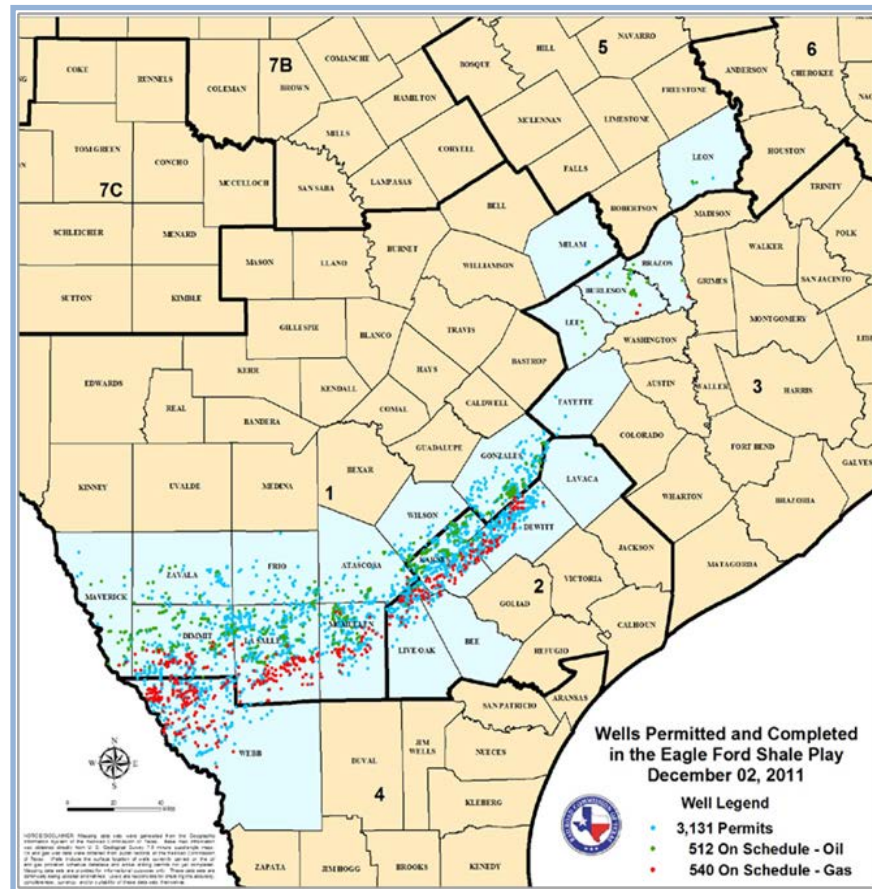


¿Y para el caso de formaciones de *shale gas/oil*?

- El primer pozo productor de gas shale en USA fue perforado en 1821, en una localización cercana al pueblo de Fredonia, New York.
- Durante los 80's Barnett fue uno de los plays de gas natural más activos en Estados Unidos, ubicado en el estado de Texas y el detonante de la explotación de formaciones *shale gas/oil*.
- Desde 1980 hasta 2002, en Barnett:
 - La mayoría de los pozos perforados eran verticales
 - La producción pico rondaba los 60 mmcf/mes por pozo
- A partir del 2002, en Barnett:
 - Se reemplazaron las perforaciones verticales por horizontales
 - La producción pico rondaba los 200 mmcf/mes por pozo

Play Eagle Ford

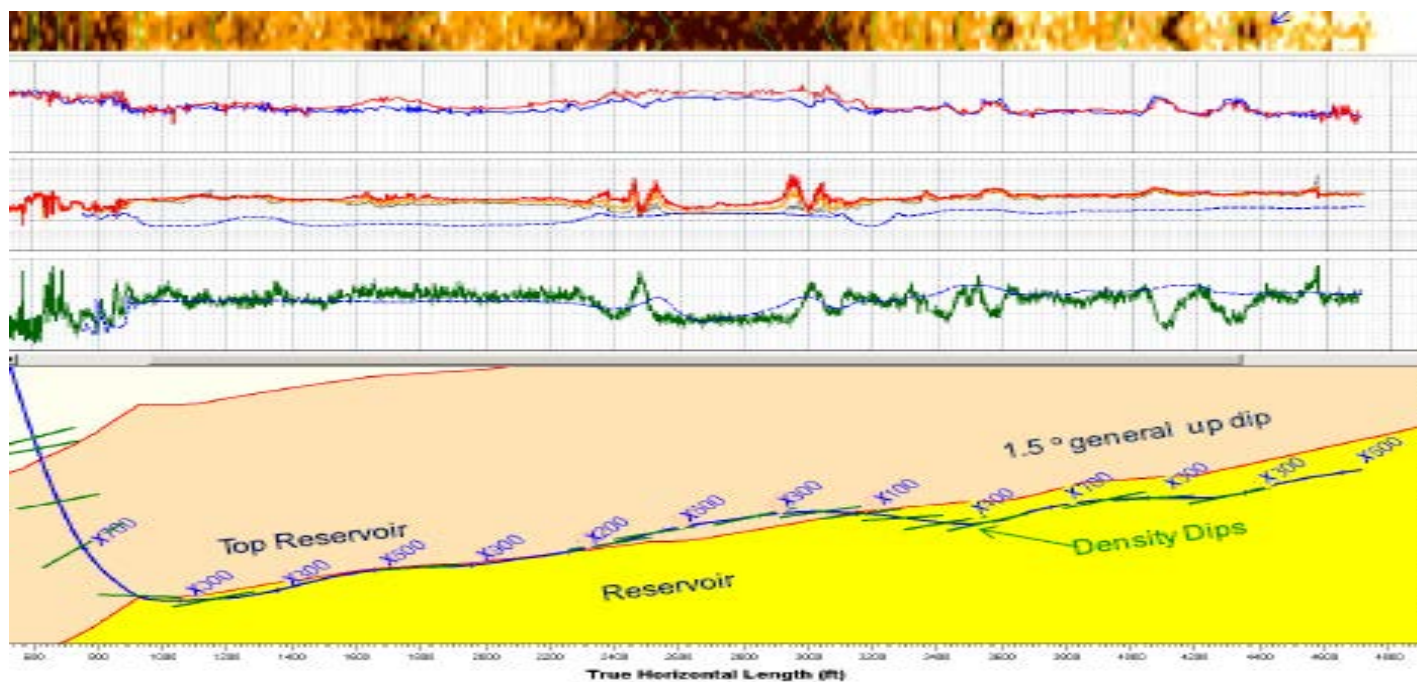
- Se ha incrementado de manera importante la actividad de perforación en este play al sur de Texas.
- La compañía Petrohawk en el 2002 perforó el primer pozo en el área.
- En el 2012 se autorizaron 4143 permisos, para la perforación de nuevos pozos, según la Texas Railroad Commission.
- El costo de la perforación y terminación oscila entre 6 a 8 MMUSD.
- La mayoría de las compañías se han enfocado a la ventana de aceite y gas húmedo.
- La técnica de perforación se ha enfocado a la perforación horizontal y terminación con fracturamiento hidráulico multietapa.



Variables de calidad

Los factores clave para el caso de *shale gas/oil*, se pueden integrar en dos grandes rubros:

- Calidad del yacimiento.
- Técnica de perforación y terminación aplicable.





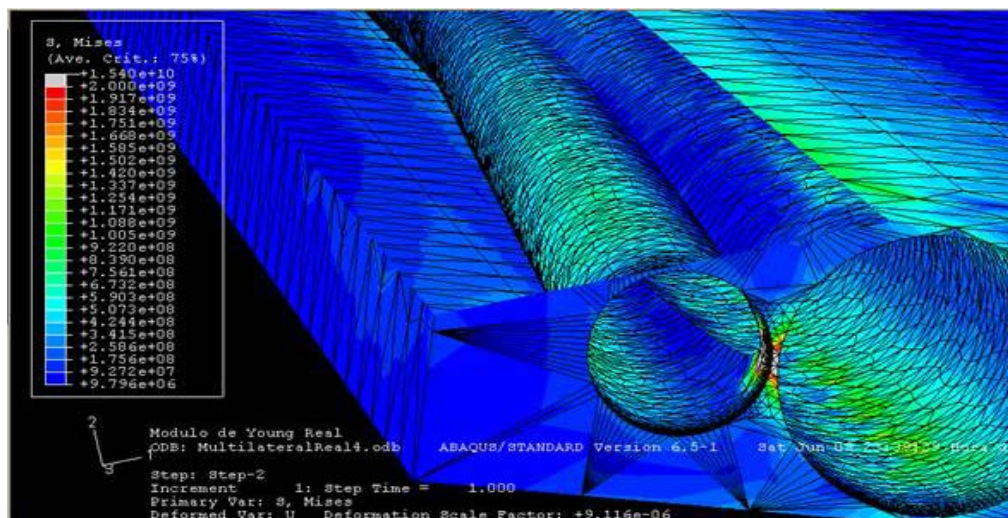
Factores clave para la perforación y terminación

Los factores clave aplicables en el caso de *shale gas/oil* son:

- Geomecánica
- Perforación horizontal
- Fracturamiento hidráulico multietapa

Geomecánica

- Especialidad que aplica la geología, mecánica de sólidos, matemáticas y física para cuantificar la respuesta de las rocas a los cambios de esfuerzos.
- Para yacimientos de lutitas es generalmente aplicable en dos áreas principales:
 - Ayudan a anticipar y prevenir inestabilidad en el agujero, sobre todo en perforaciones horizontales.
 - Ayuda a determinar la opción óptima de terminación del pozo.



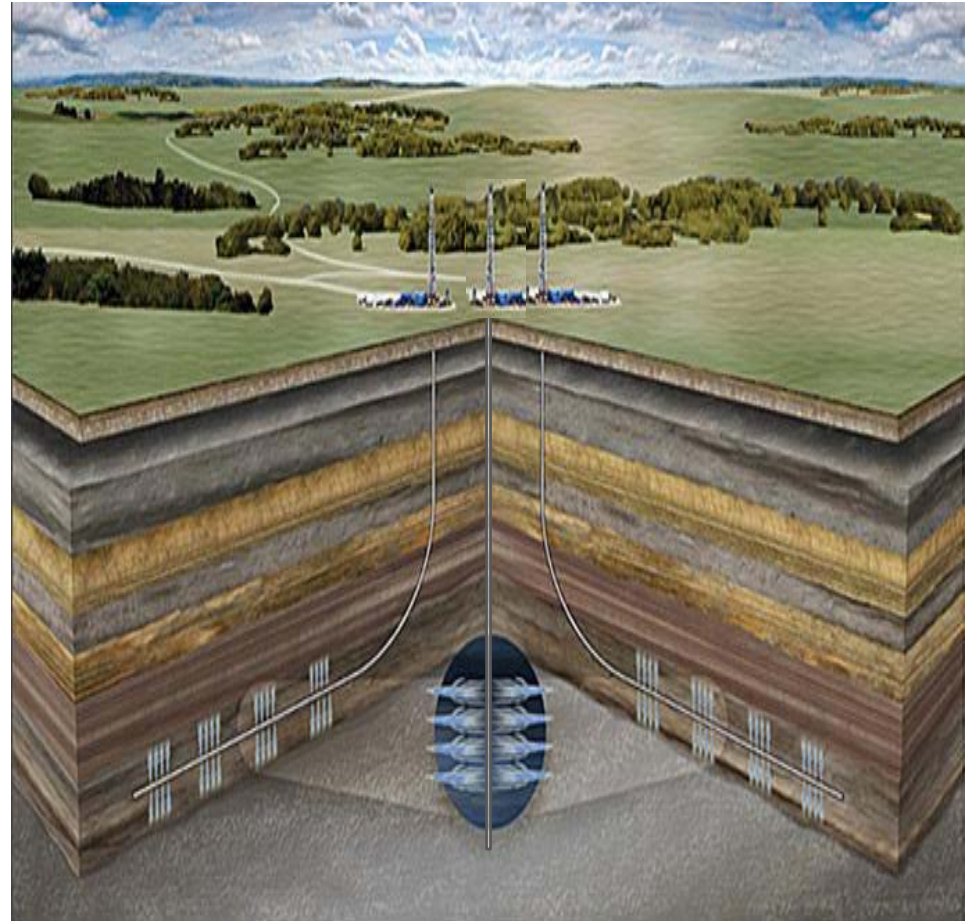


La geomecánica como elemento fundamental

- **La selección de la trayectoria del pozo depende, entre otras, de las propiedades mecánicas y petrofísicas de la formación.**
- **La distribución de esfuerzos, grado de anisotropía y estabilidad geomecánica de la formación, alrededor del pozo y a nivel de campo, permiten definir la mejor alternativa de trayectoria y la estrategia de terminación del pozo.**
- **Uno de los factores de éxito de la trayectoria depende de la geonavegación a través de la formación de interés, plenamente identificada.**
- **Dentro de los elementos de éxito del fracturamiento hidráulico multietapa, se debe considerar una adecuada caracterización geomecánica de la formación y la correcta selección de la técnica operativa y su ejecución.**

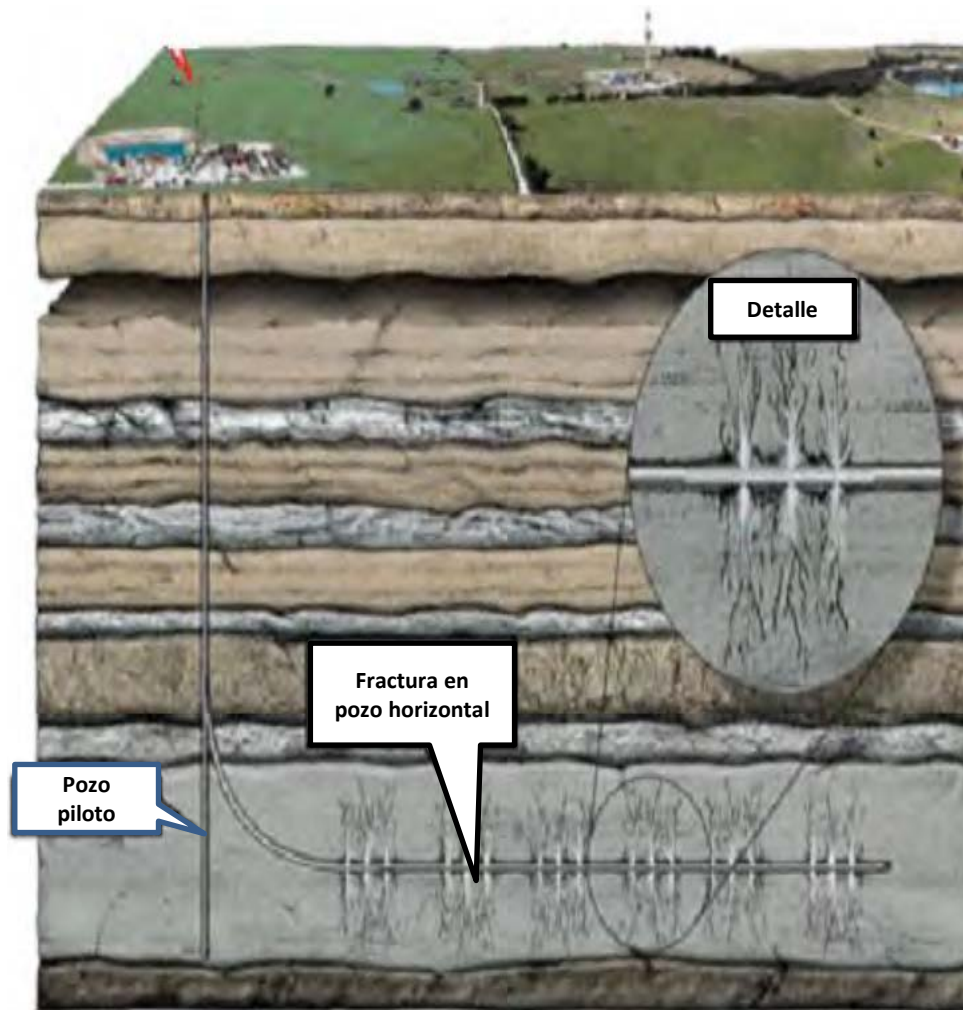
Perforación Horizontal

- Técnica de perforación clave en la explotación de yacimientos no convencionales tipo shale.
- Es un esfuerzo de ingeniería para desviar un agujero a lo largo de una trayectoria planeada hacia un objetivo a cierta profundidad en el subsuelo.
- La ubicación de este tipo de pozo está a una distancia lateral dada y en una dirección definida, a partir de la posición superficial.



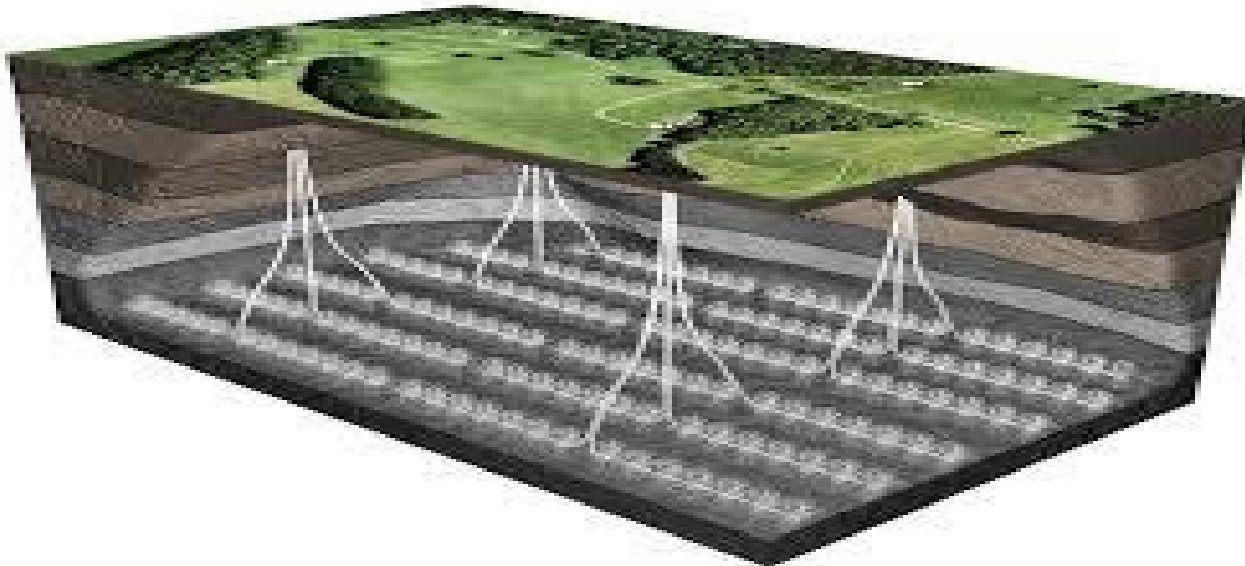
Perforación Horizontal

- Los pozos horizontales usan drenes múltiples a lo largo de su trayectoria y se desarrollan a partir de un pozo primario o piloto, coadyuvando conjuntamente con el fracturamiento hidráulico.
- El costo de un pozo horizontal puede ser hasta tres veces mayor que un pozo vertical, sin embargo su producción puede verse incrementada hasta 14 veces.



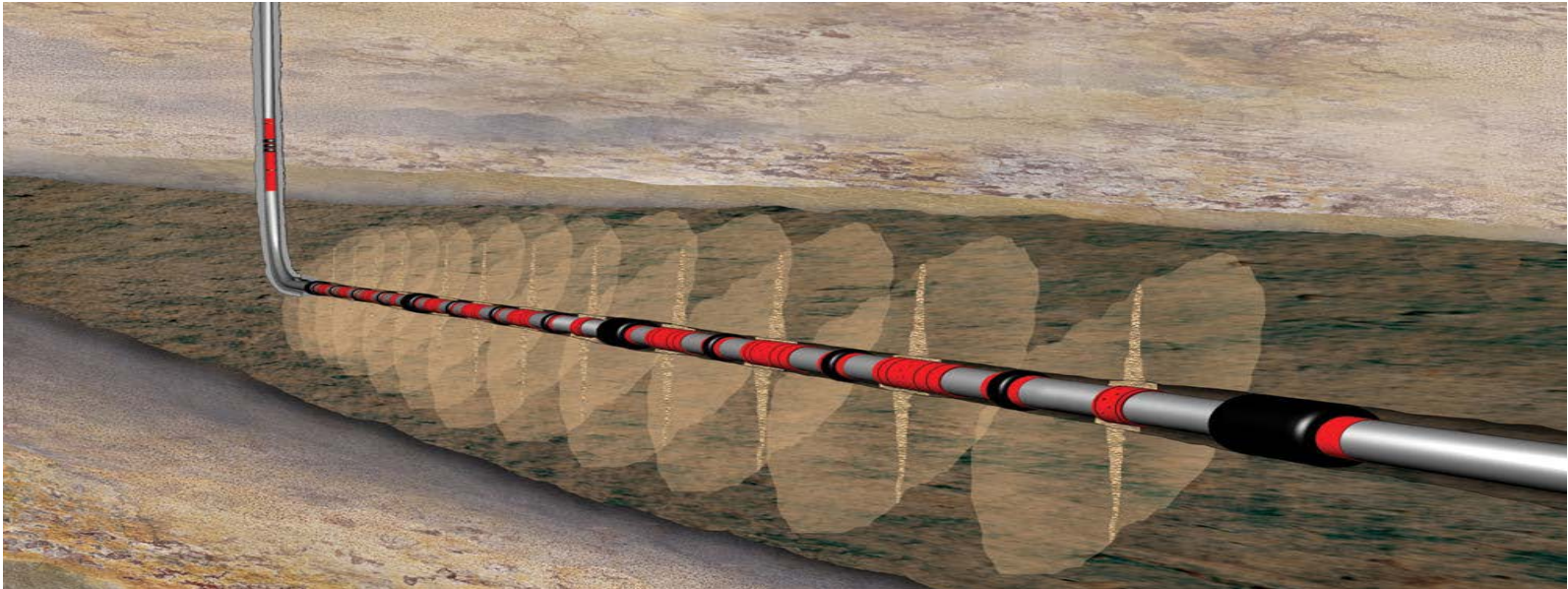
Perforación Horizontal

- La estrategia de explotación de los yacimientos no convencionales *shale gas/oil* implica la perforación y terminación masiva de pozos horizontales.



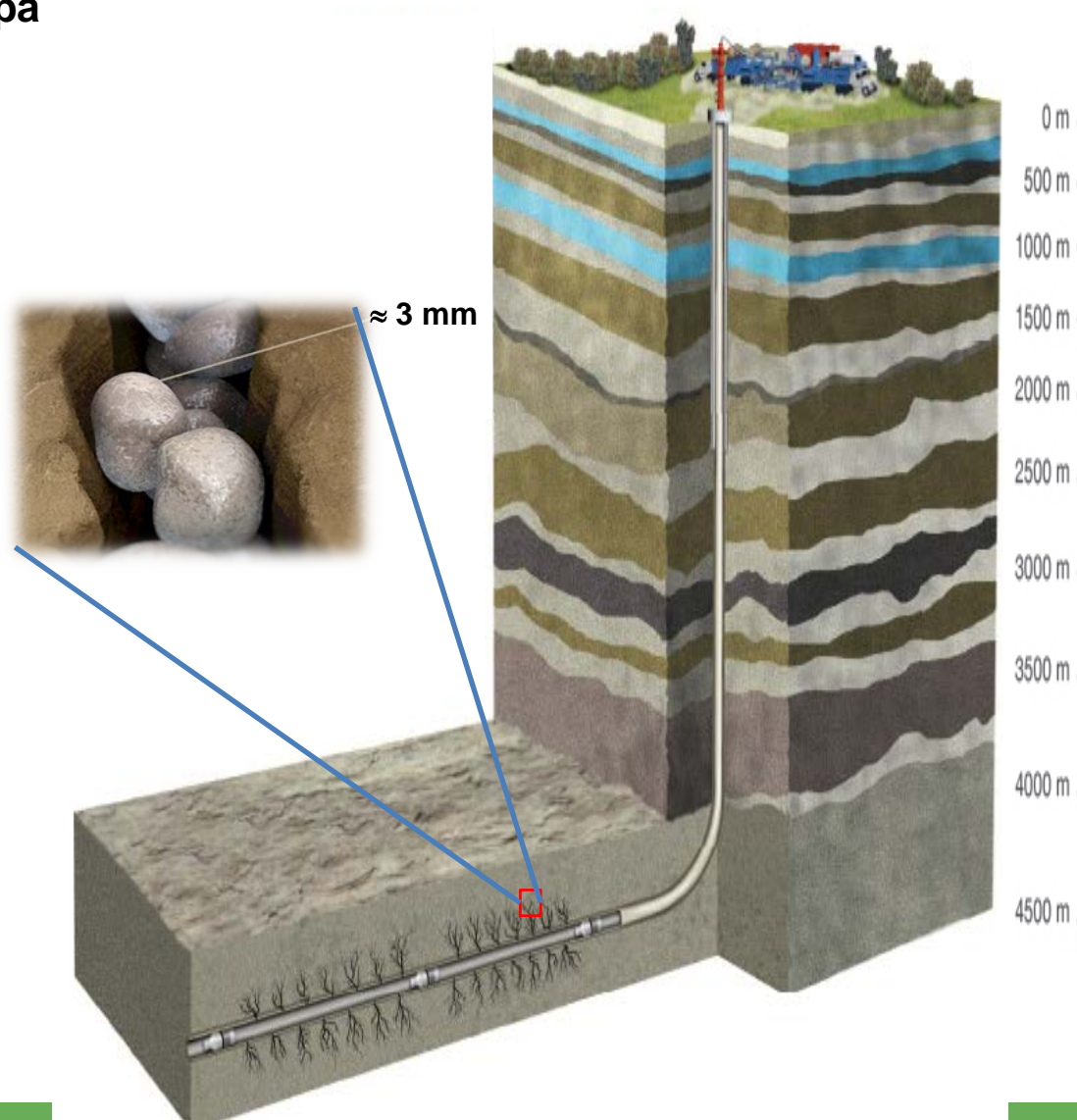
¿Qué es el fracturamiento hidráulico?

- Técnica de estimulación de pozos utilizada desde 1947, sobre todo en aplicaciones para formaciones con baja permeabilidad, tales como las lutitas.
- El fracturamiento hidráulico permite abrir canales de flujo de alta conductividad que se extienden desde el pozo, a través de la formación impregnada de gas y/o aceite y esto le permite fluir desde la roca, a través de la fractura, hasta el pozo.

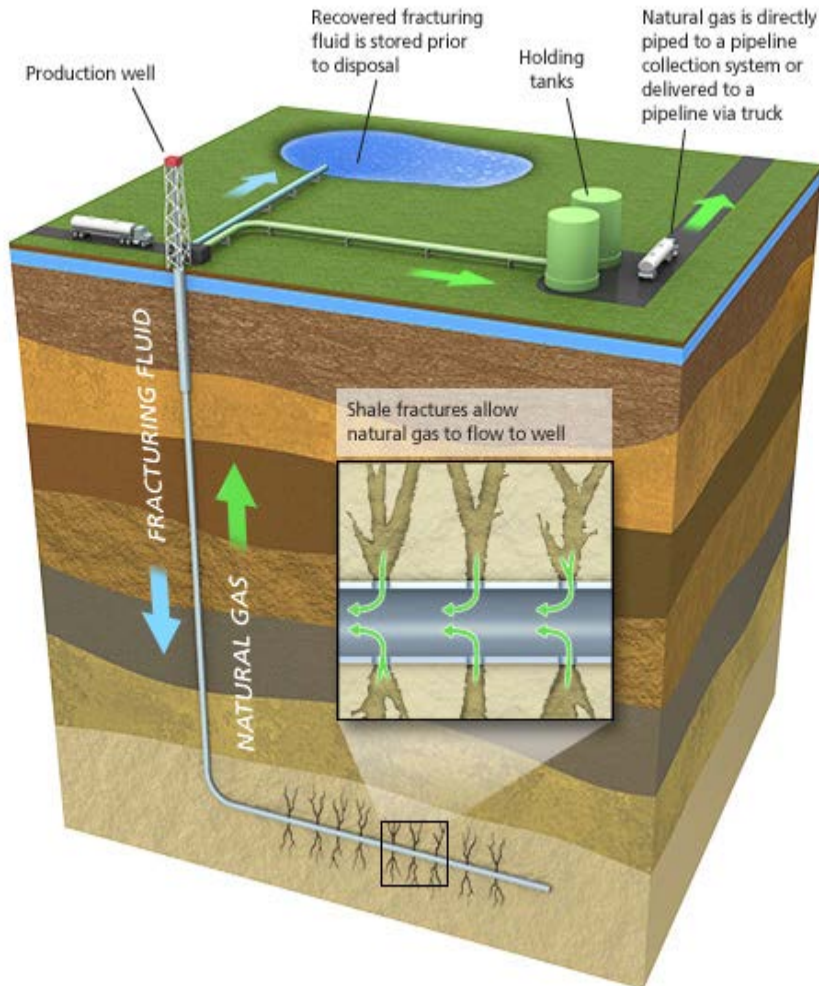


Fracturamiento hidráulico multietapa

- Durante el fracturamiento hidráulico se bombea fluido a través de los disparos de la tubería de revestimiento, dependiendo de la técnica utilizada, utilizando altas presiones para fracturar la formación.
- A medida que la inyección de fluido a alta presión continúa, la fractura sigue creciendo o propagándose.
- En tanto la fractura continúa propagándose, se adiciona un apuntalante al fluido bombeado (arena), cuya función es mantener abierta la fractura y permitir a los fluidos trasladarse al pozo.



Fracturamiento hidráulico multietapa



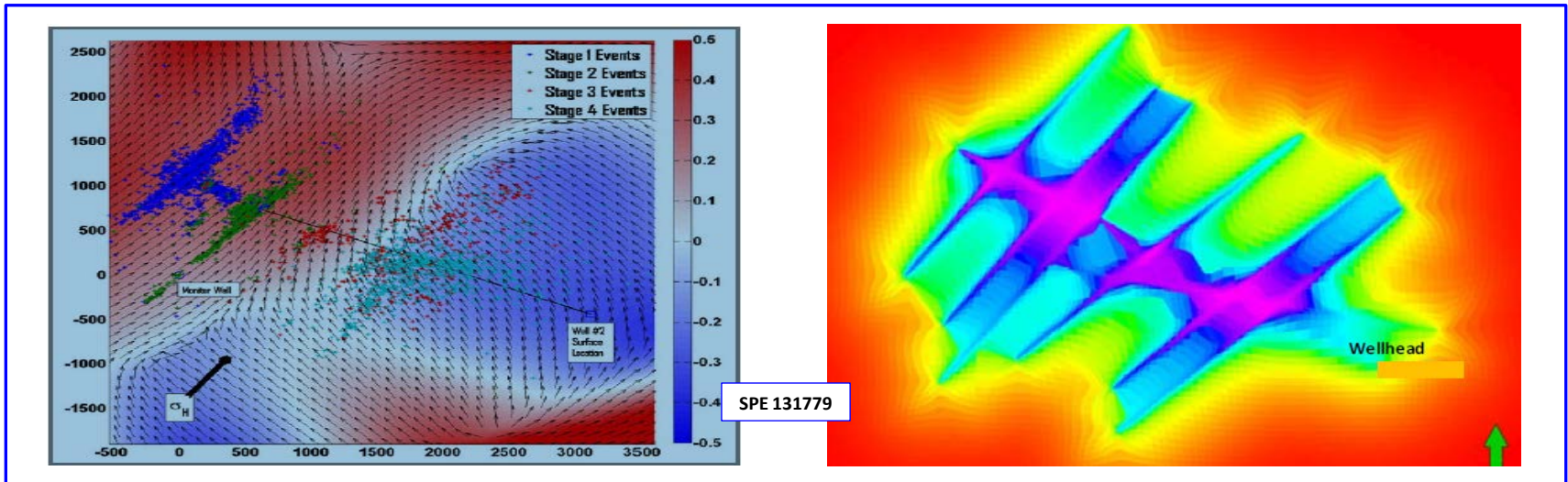
¿Por qué fracturar?

Terminación Inicial

- Lograr un mayor fracturamiento efectivo.
- Distribuir adecuadamente las fracturas.
- Crear áreas de drenado masivo.

Mantenimiento

- Operaciones de estimulación.
- Conectar zonas no drenadas o no consideradas inicialmente.



- La aplicación de la microsísmica permite modelar la arquitectura de la terminación y sus áreas de drenado, así como la distribución de esfuerzos, que dan como resultado diferencias significativas en la recuperación de hidrocarburos, a través de diferentes patrones de drene.
- Adicionalmente, la microsísmica en tiempo real, permite monitorear los procesos de estimulación mientras estos suceden y detectar las trayectorias de flujo a través de las fracturas.
- Los modelos de flujo pueden determinarse conociendo la distribución de esfuerzos inducidos y el patrón de distribución volumétrica de las fracturas.

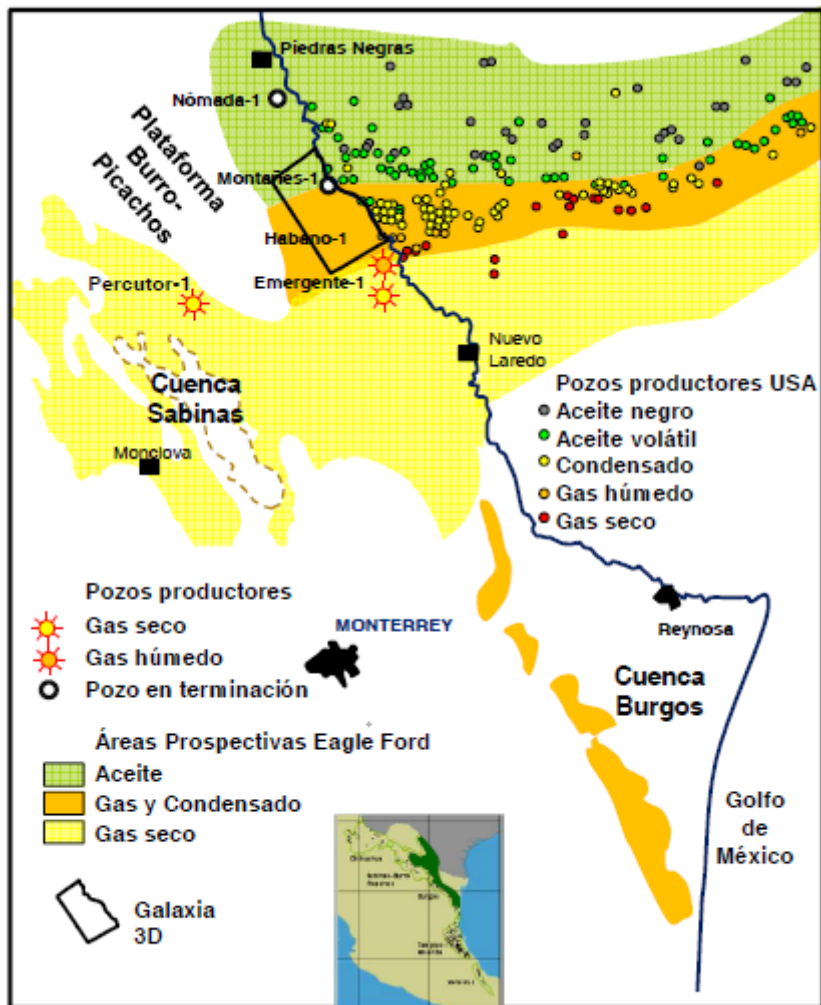


¿Cuánta agua requiero?

- El rango de etapas de fracturamiento hidráulico en pozos horizontales puede oscilar entre 6 y 12, según criterios de diseño para un pozo en particular.
- Un fluido de fracturamiento típico para aplicaciones en lutitas, es 99.5% agua y arena y el otro 0.5% son aditivos que varían según el pozo y el operador.
- Los volúmenes de agua requeridos pueden oscilar entre 7,570 m³ y 22,710 m³ de acuerdo al número de etapas y diseño de la fractura, un valor típico es alrededor de 11,355 m³.
- Después del fracturamiento hidráulico, parte del fluido es retornado a la superficie (flowback) y este volumen puede oscilar entre el 20 y el 80% del volumen inyectado.
- El agua recuperada puede ser reciclada para su reutilización en nuevas operaciones o ser reintegrada en pozos de inyección .
- Reutilizar los volúmenes de agua de retorno, es un esfuerzo importante en el proceso de la administración de este recurso, ya que es un elemento clave en el proceso productivo.
- Es importante considerar aspectos de disponibilidad del agua, su manejo y transporte, disposición y regulaciones aplicables.

- **En términos generales las siguientes acciones coadyuvan a proteger el medio ambiente:**
 - **Reducir las áreas de afectación durante el proceso de perforación y terminación de pozos.**
 - **Incrementar los niveles de seguridad durante las operaciones.**
 - **Reutilizar el agua de retorno.**
 - **Manejar de forma adecuada los desechos de perforación (recortes, fluidos de control y fracturantes).**
 - **Aplicar nuevas tecnologías de fracturamiento tendientes a reducir los volúmenes de agua utilizada.**

Área Sabinas – Burro-Picachos – Burgos



Play Eagle Ford

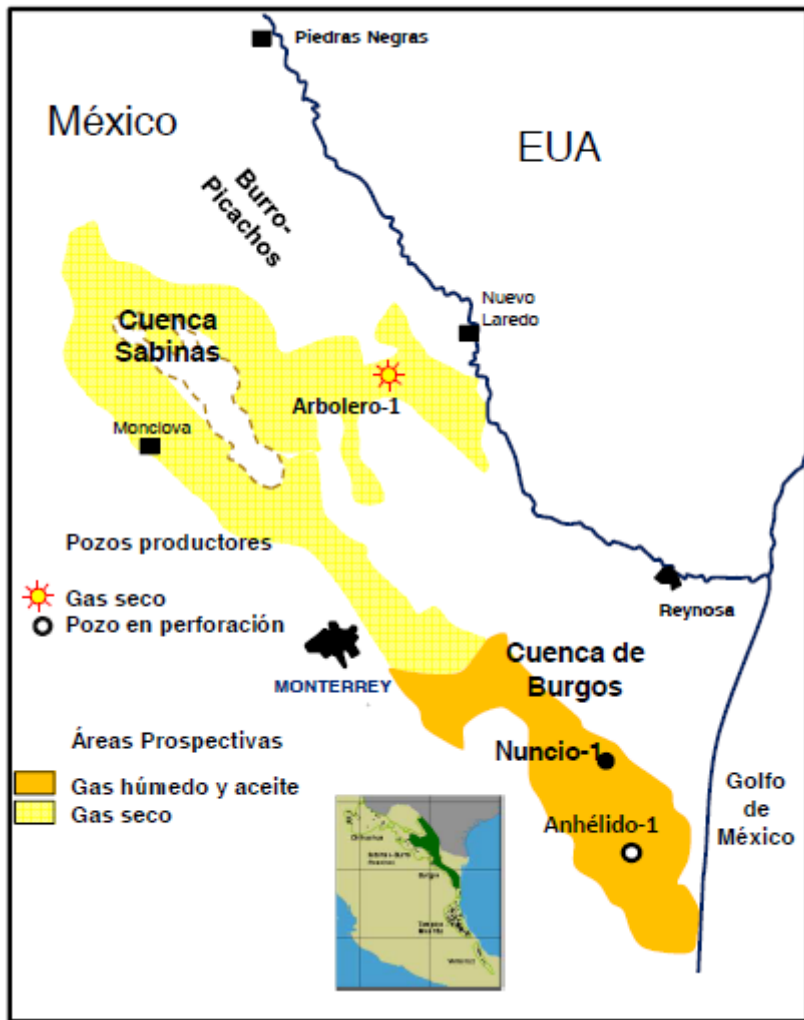
- Área prospectiva: 34,700 km²
- Tipo de hidrocarburo esperado: gas seco y húmedo.
- El play es Cretácico Superior Eagle Ford.

Resultados

- Con los pozos Emergente-1 y Habano-1 se comprobó la continuidad de las zonas de gas seco y gas húmedo del play Eagle Ford.
- El pozo Percutor-1 productor de gas seco probó la extensión de este play hacia la Cuenca de Sabinas.
- Con los pozos Nómada-1 y Montañés-1 se exploraron las zonas de aceite y gas húmedo respectivamente, con resultados parcialmente concluyentes.

Fuente: Potencial de recursos no convencionales asociado a plays de aceite y gas de lutitas en México, J. Antonio Escalera A., Pemex, Agosto, 2012

Área Sabinas – Burro-Picachos – Burgos



Play Jurásico Superior

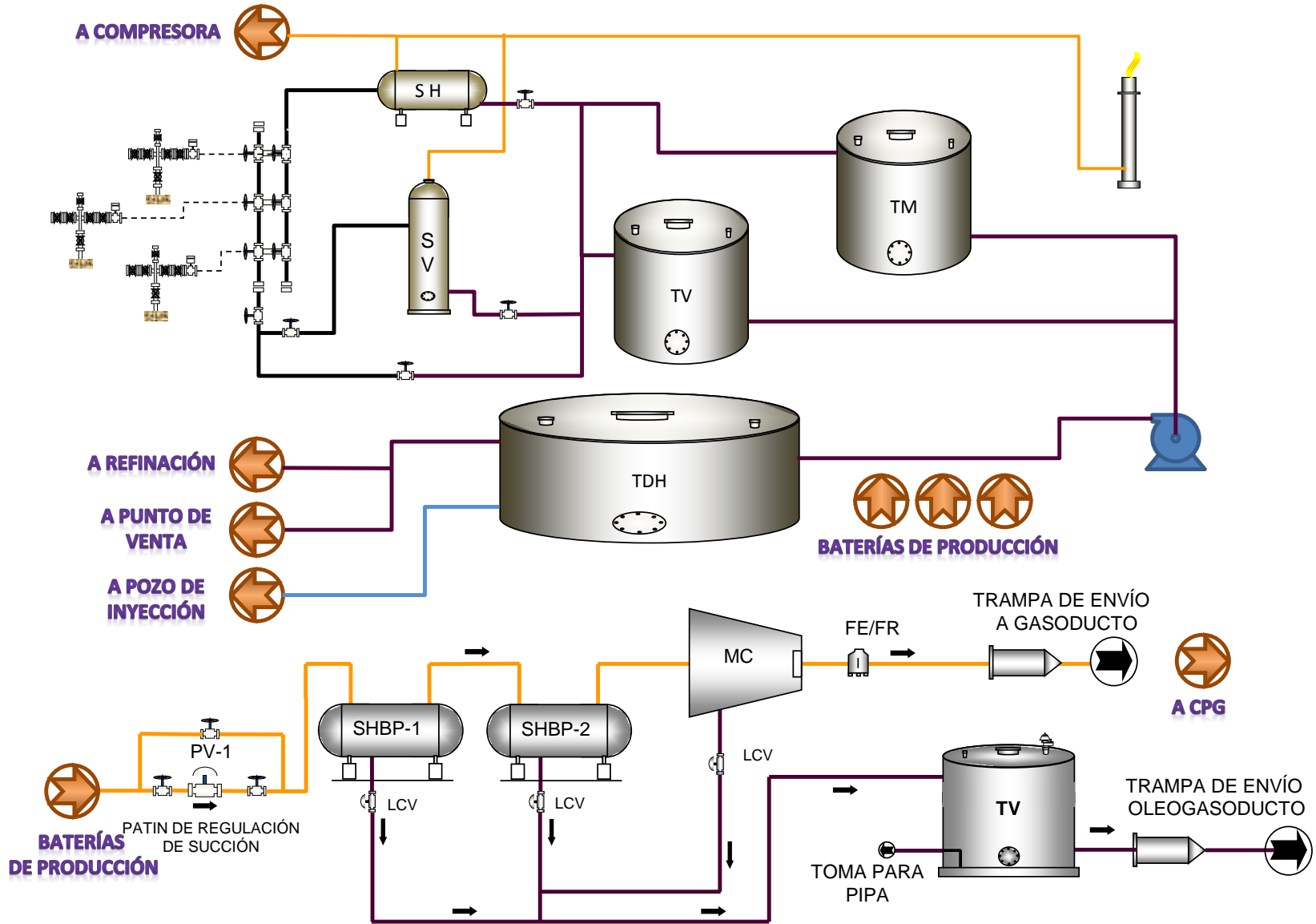
- Área prospectiva: 42,300 km²
- Tipo de hidrocarburo esperado: gas seco, húmedo y aceite ligero.
- El play es Jurásico La Casita – Pimienta.

Resultados

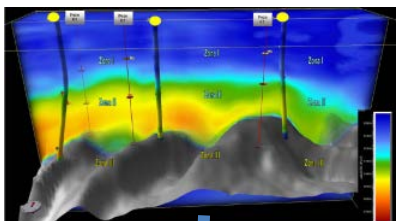
- El pozo Arbolero-1 comprobó el concepto de *shale gas* en el Jurásico Superior de la Cuenca de Sabinas.
- Con el fin de evaluar el Jurásico Superior en el área sur de Burgos, se perforó el pozo Anhélido-1 y posteriormente el Nuncio-1.

Fuente: Potencial de recursos no convencionales asociado a plays de aceite y gas de lutitas en México, J. Antonio Escalera A., Pemex, Agosto, 2012

Y después de la perforación, ¿qué sigue?



Modelo de producción teórico



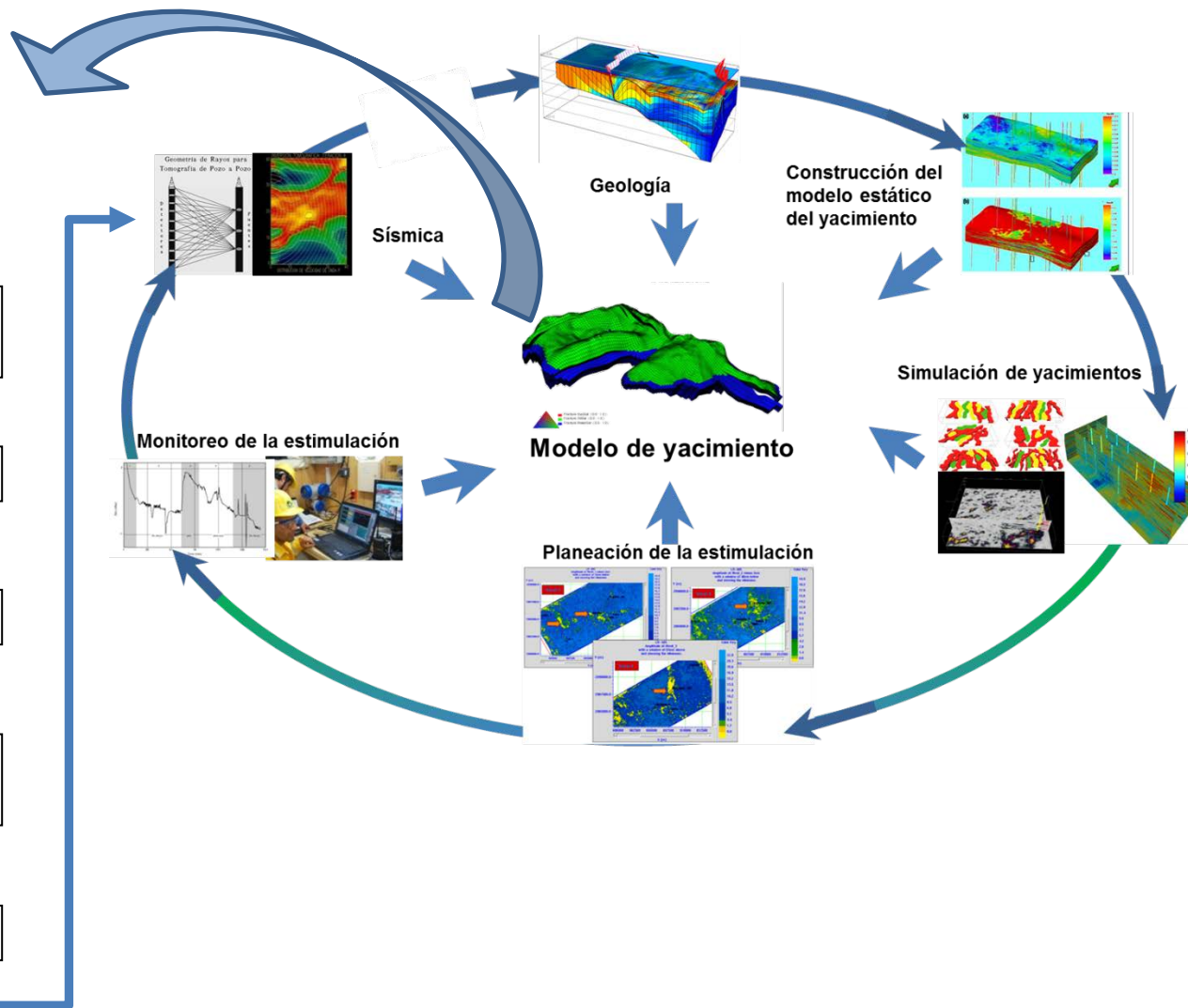
Resultados de pruebas en nuevos pozos

Modelo de producción

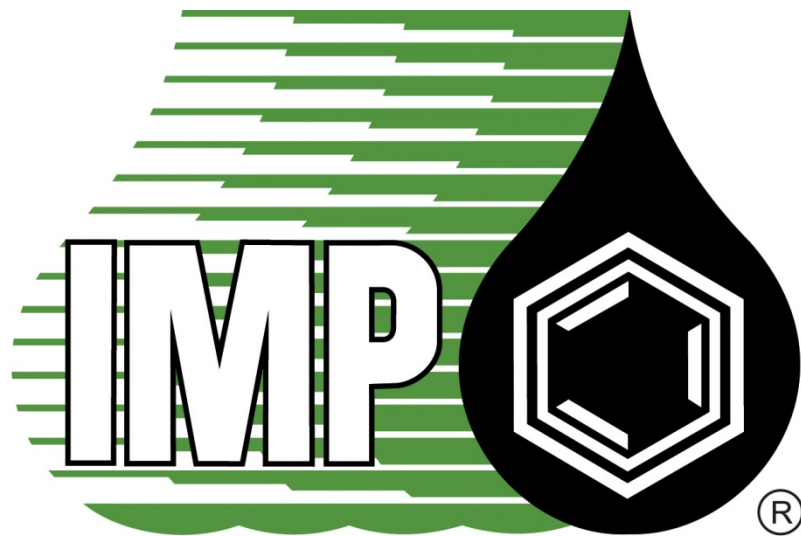
Desarrollo del campo

Optimización de instalaciones superficiales

Evaluación económica



- **Adicional a la determinación de los sweet spots, el éxito en la explotación de yacimientos no convencionales es culminado con la adecuada planeación, diseño y ejecución de la perforación y terminación de pozos horizontales.**
- **Dentro del proceso de terminación de los pozos, el punto de mayor enfoque es el fracturamiento hidráulico multietapa.**
- **Lo anterior no puede quedar completo sin una adecuada caracterización geomecánica, en la que se determine una distribución de esfuerzos que permitan planear las trayectorias encaminadas a la mayor productividad.**
- **En los próximos años se tendrá que desarrollar tecnología en perforación enfocada a reducir costos, mejorar la estabilidad de los pozos horizontales y minimizar el impacto ambiental de la perforación.**
- **En el caso de la terminación, se debe eficientar el fracturamiento hidráulico y sobre todo en la aplicación de tecnologías tendientes a reducir los volúmenes de agua utilizados en los procesos vigentes.**



INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO