

Juan Herrera Herbert

La perforación direccional de pozos de petróleo y gas

**Serie: “Introducción a la perforación y producción
de petróleo y gas”**

Madrid - 2024



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Escuela Técnica Superior
de Ingenieros de Minas y Energía

www.minasyenergia.upm.es





La perforación direccional de pozos de petróleo y gas.

Serie: "Introducción a la perforación y producción de petróleo y gas"

Autor: Juan Herrera Herbert (juan.herrera@upm.es).

ADVERTENCIA

El presente documento ha sido preparado con una finalidad exclusivamente divulgativa y docente. Las referencias a productos, marcas, fabricantes y estándares que pueden aparecer en el texto, se enmarcan en esa finalidad y no tienen ningún propósito comercial.

Todas las ideas que aquí se desarrollan tienen un carácter general y formativo y el ámbito de utilización se circunscribe exclusivamente a la formación de los estudiantes de la UPM. La respuesta ante un caso particular requerirá siempre de un análisis específico para poder dictaminar la idoneidad de la solución y los riesgos afrontados en cada caso, además de las incidencias en los costes de explotación. Consulte siempre a su ingeniería, consultor, distribuidor y fabricante de confianza en cada caso.

Foto de portada: <https://www.hartenergy.com/>

Copyright © 2024. Todos los derechos reservados

DC: <https://oa.upm.es/84774/>

OAI: [oai:oa.upm.es:84774](https://oa.upm.es/84774/)



Universidad Politécnica de Madrid
Departamento de Ingeniería Geológica y Minera
Laboratorio de Tecnologías Mineras

Calle Rios Rosas 21
28003 Madrid (España)

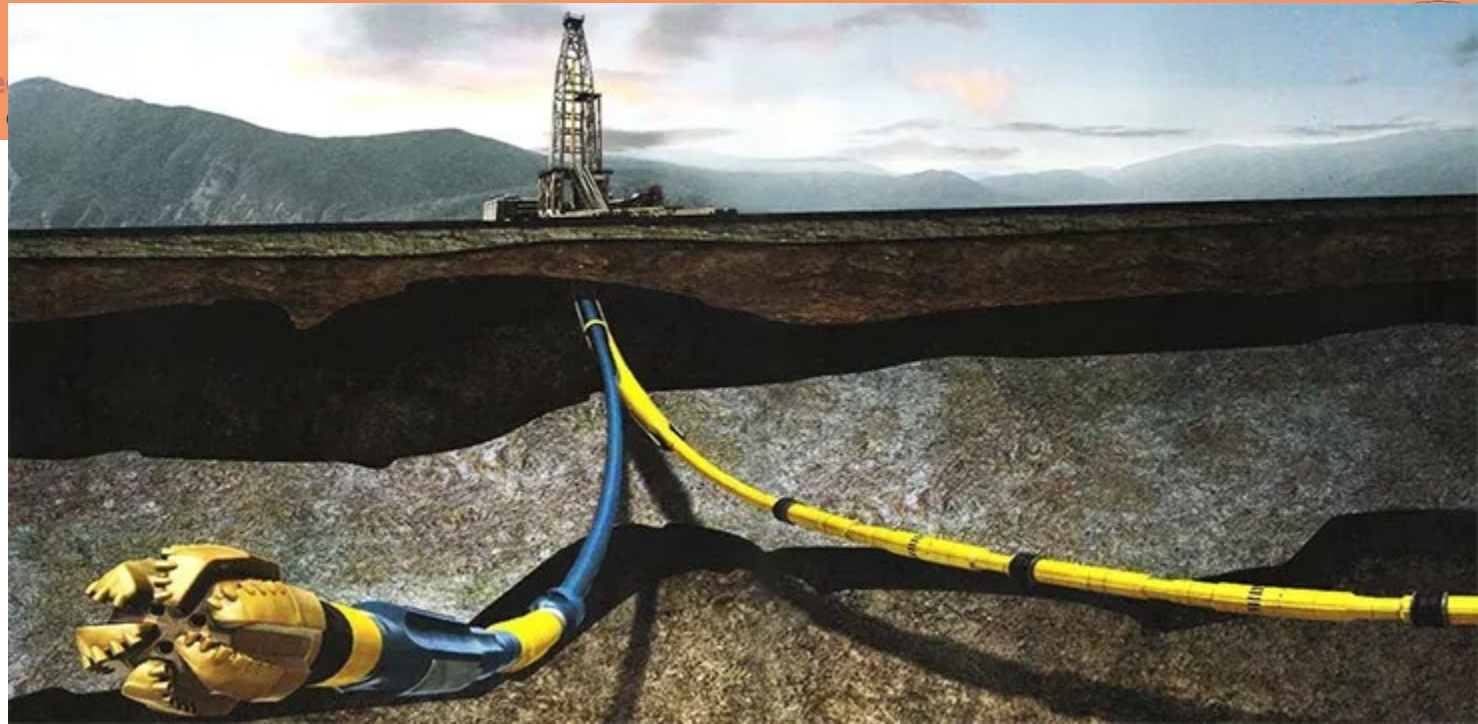


Este documento ha sido formateado para su visualización y uso en dispositivos electrónicos y permitir ahorrar en el consumo de papel y tóner.
Antes de imprimirlo, piense si es necesario hacerlo.

1

Perforación direccional de pozos.

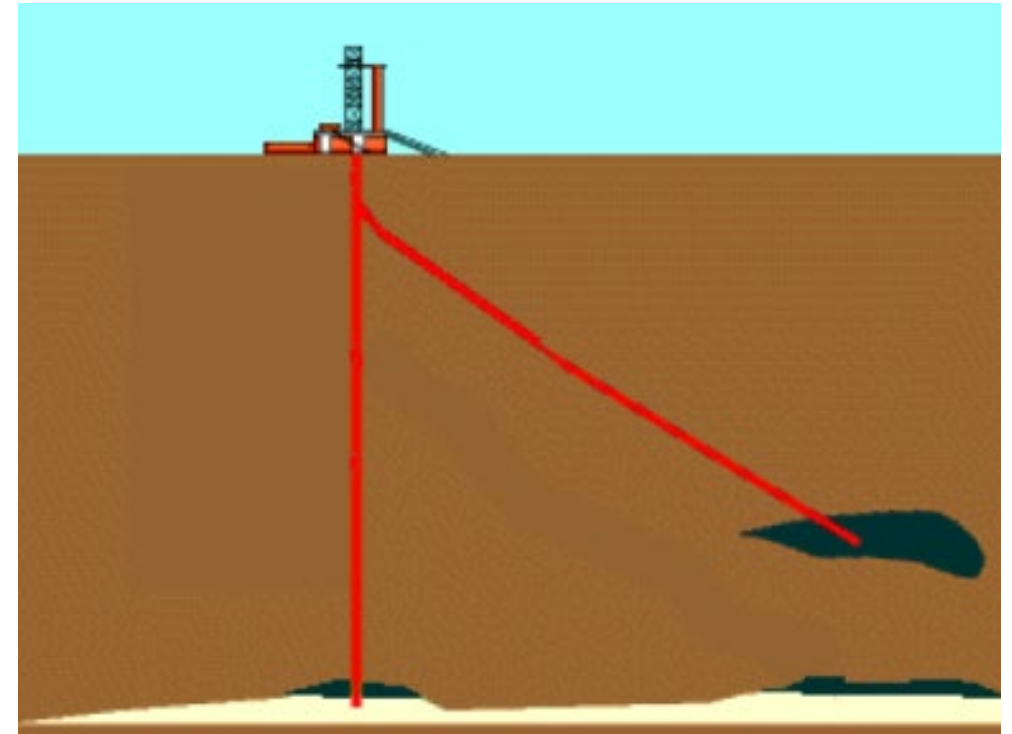
La perforación direccional



- La perforación direccional se ha convertido en una herramienta muy importante en el desarrollo de los yacimientos de petróleo y gas.
- Actualmente está demostrado que el uso de la perforación direccional es más rentable ya que en muchos casos abarata los costes de producción de hidrocarburos al permitir alcanzar distintos objetivos desde un mismo emplazamiento.
- En el caso de la perforación horizontal se consigue mejorar la productividad de los pozos, con una reducción de los costes técnicos de producción.
- Probablemente, el aspecto más importante de la perforación direccional controlada es que permite a los productores de hidrocarburos el aprovechamiento de depósitos subterráneos que nunca hubieran podido ser explotados de manera económica de otra forma, como es el caso de la explotación de recursos no convencionales, donde es imprescindible la aplicación de la técnica de perforación horizontal.

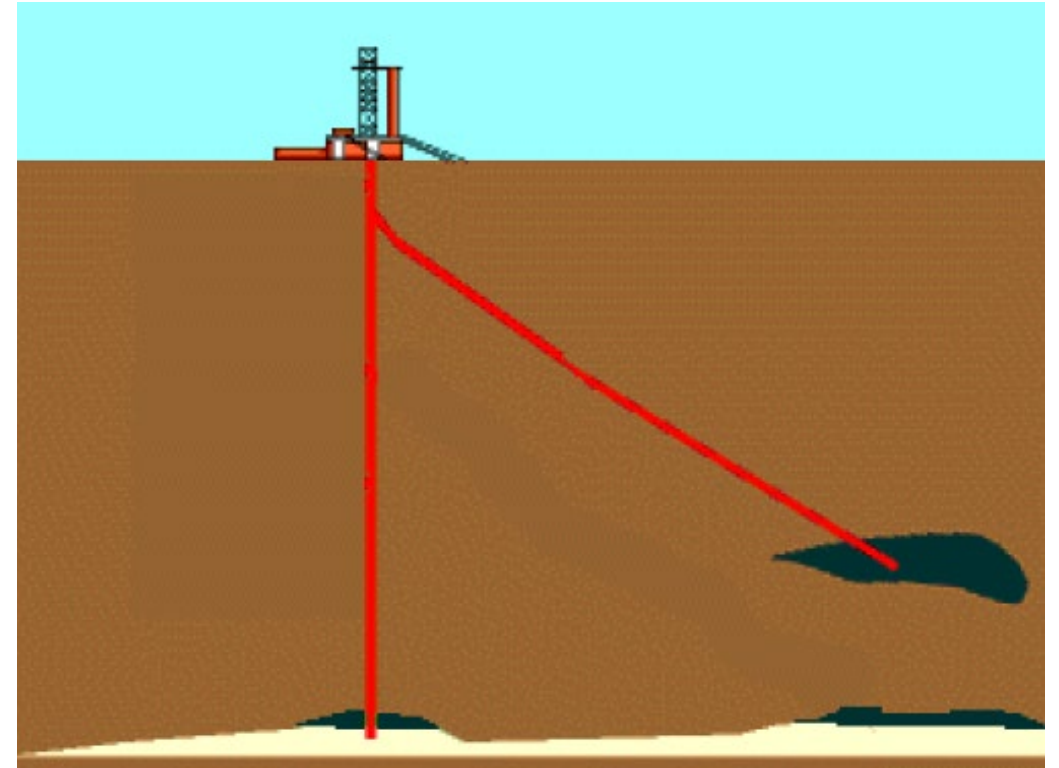
Perforación direccional (II)

- La perforación direccional puede definirse como la técnica de desviar un sondeo a lo largo de una trayectoria previamente establecida desde un punto de partida en la superficie hasta una ubicación objetivo en profundidad, definidos ambos por un sistema de coordenadas establecido.
- Habitualmente, un pozo ejecutado con perforación direccional comienza siendo un poco vertical que gira en un determinado punto, de modo que la ubicación del punto final del sondeo dista cientos o miles de metros de la posición vertical del punto de partida.



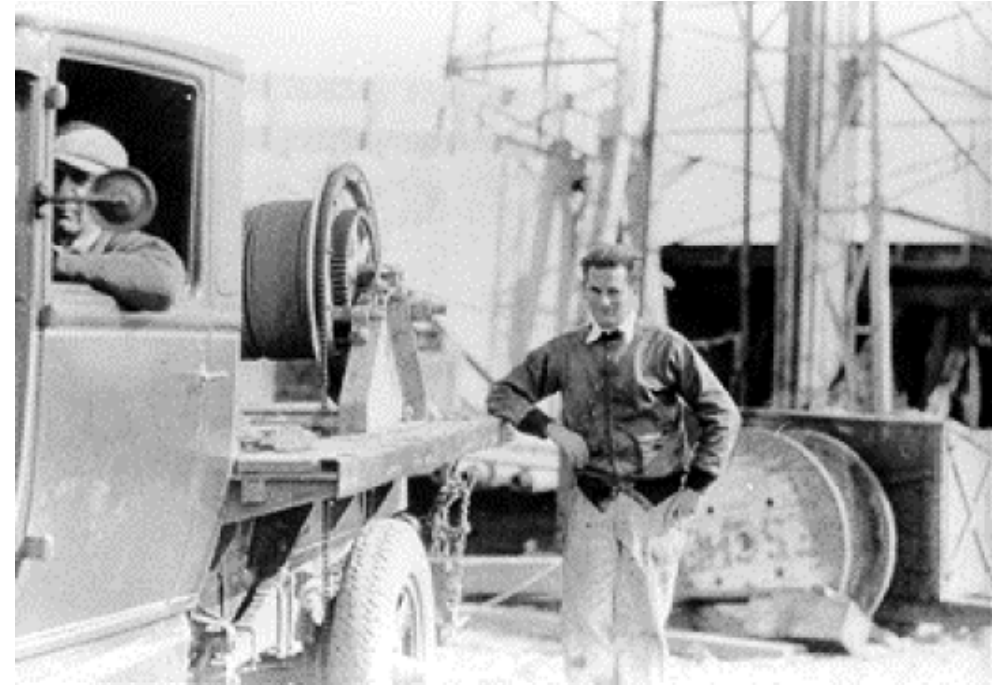
Perforación direccional (III)

- La perforación direccional se utilizó inicialmente como una operación de recuperación:
 - Desviar sondeos en los que se había bloqueado la perforación,
 - Corregir la desviación de un pozo y llevar el pozo de nuevo a vertical, o
 - En la perforación de pozos de alivio para controlar pozos en erupción como consecuencia de un blowout.



Perforación direccional (IV)

- El interés en la perforación direccional comenzó hacia 1929 cuando se introdujo un sistema nuevo y más o menos preciso de medida del ángulo de perforación durante el desarrollo de un campo de producción en Seminole (USA).
- En 1930, la primera perforación direccional controlada se perforó en Huntington Beach, en California (USA). El pozo se perforó desde una plataforma en tierra hacia unas arenas bituminosas en el mar.



Perforación direccional (V)

- La perforación direccional controlada había recibido una publicidad bastante desfavorable hasta que se utilizó en 1934 para “matar a un pozo” natural cerca de Conroe (Texas, EE.UU.).
- La perforación direccional se estableció como una forma de controlar los pozos eruptivos “wild wells”.
- El resultado positivo permitió el desarrollo de esta tecnología con el reconocimiento favorable tanto de Compañías Operadoras como de Contratistas.



Técnicas de perforación direccional de pozos.

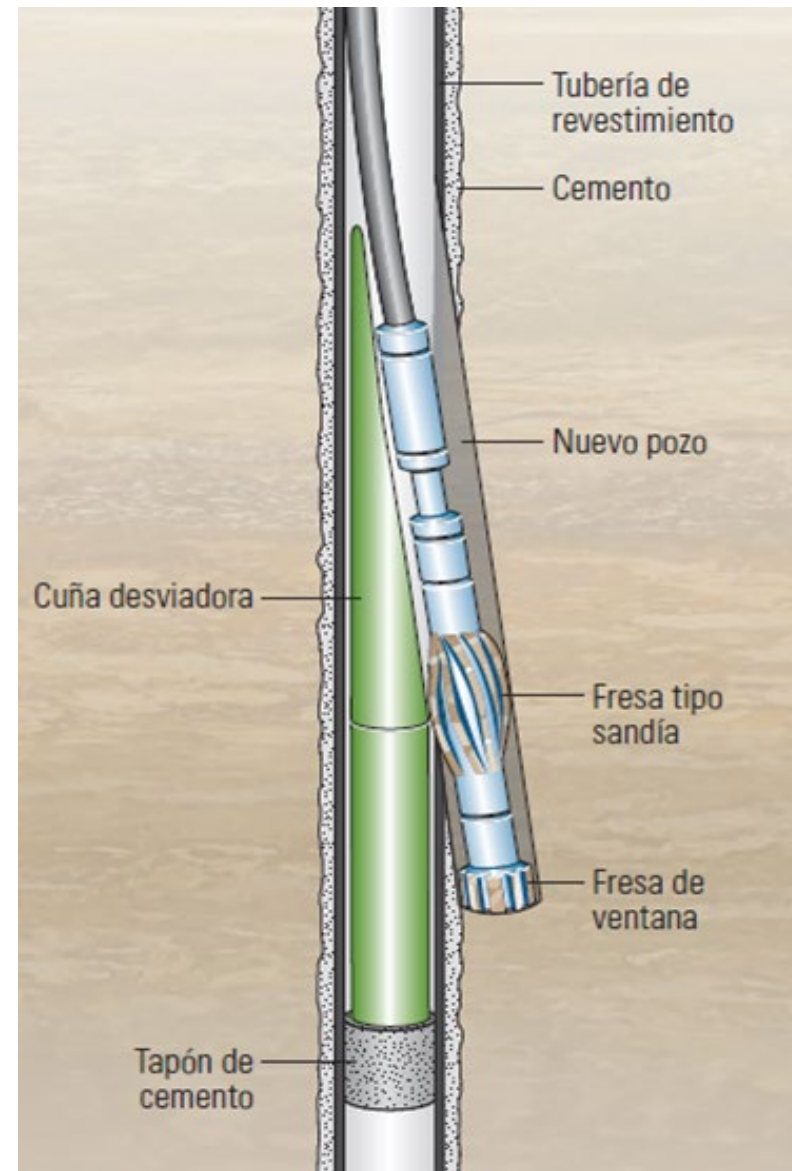
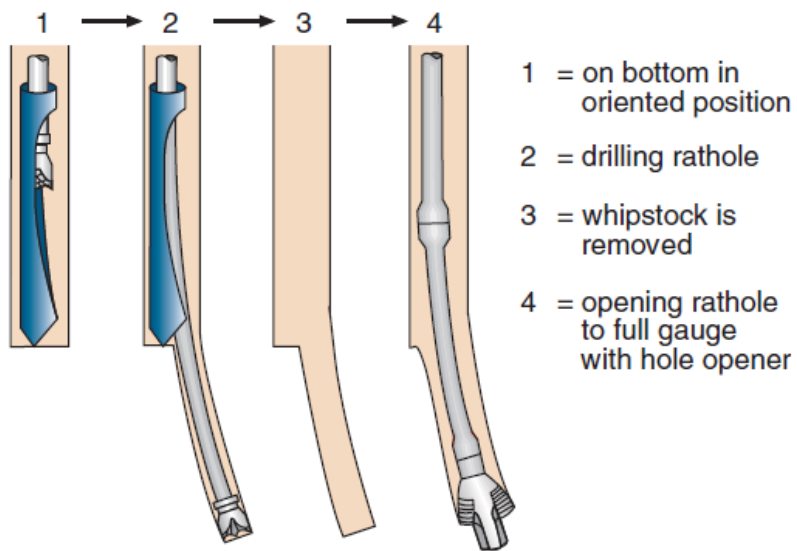
Técnicas de perforación direccional

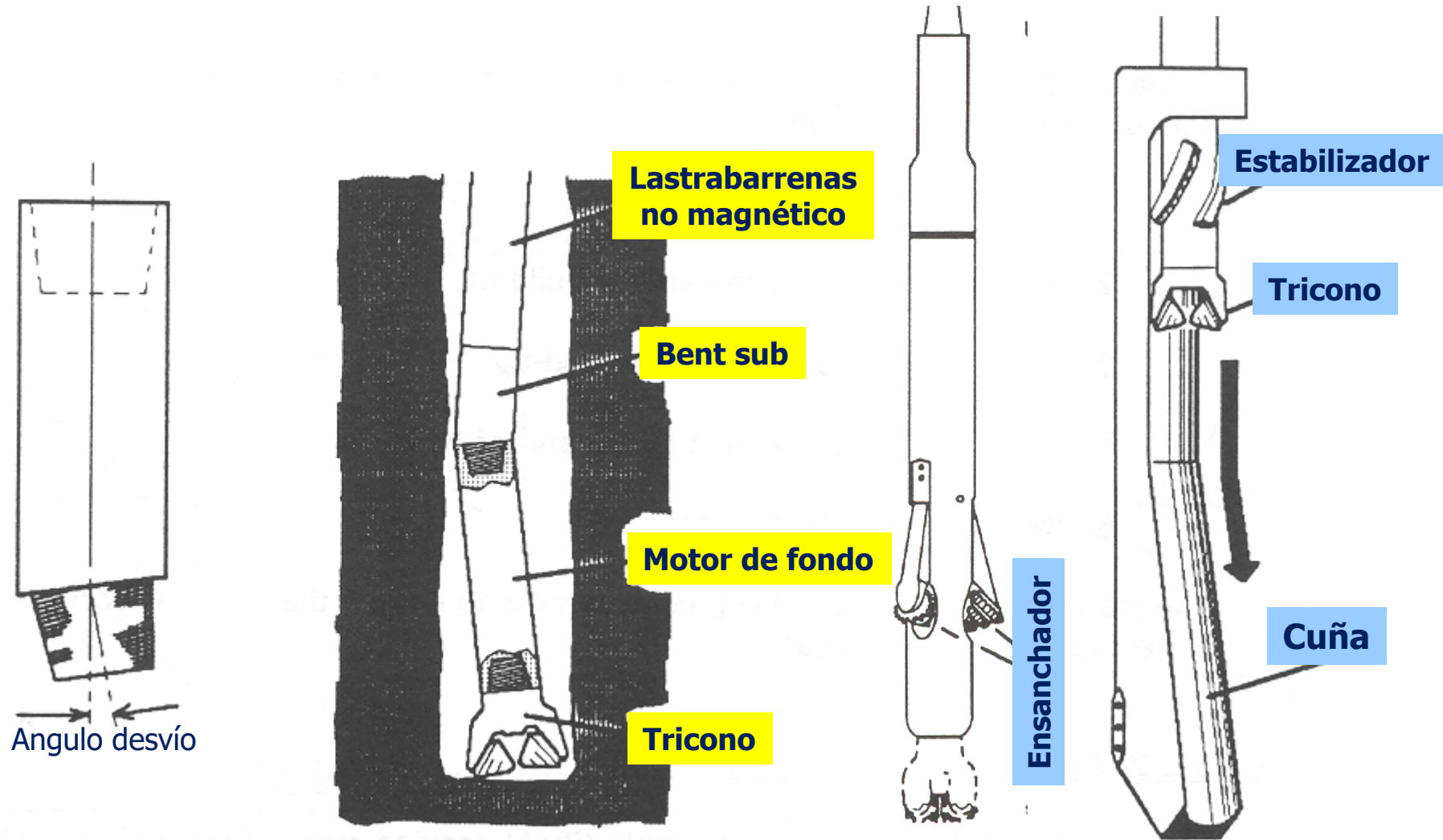
- El concepto general de aplicación la perforación direccional es simple: direccionar la barrena en la dirección en la que se quiere perforar.
- El desarrollo de los motores de fondo, así como los dispositivos de medición precisos, constituyen el complemento mas importante para el avance en la tecnología de la Perforación direccional.
 - La forma inicial utilizada en los primeros tiempos fue a través del uso de una sección acodada colocado en el motor de fondo. La sección acodada dirige la barrena en una dirección diferente del eje del pozo cuando la sarta de perforación entera no está rotando.
 - Cuando se logra una dirección de pozo determinada, ésta se puede mantener mediante la rotación de la sarta de perforación entera (incluida la sección acodada) de modo que la barrena no perfora en una sola dirección lejos del eje del pozo, sino que cubre una cierta área y su dirección neta coincide con el pozo existente.

Técnicas de perforación direccional

Sistema Whipstock

- En los primeros tiempos de la perforación direccional se utilizó con generalidad la cuña de desviación comúnmente denominada "Whipstock" sobre todo para las operaciones side-track
- Hoy en día el "Whipstock" sigue utilizándose para la apertura de ventanas de desviación en el casing por ser un sistema rápido y efectivo.

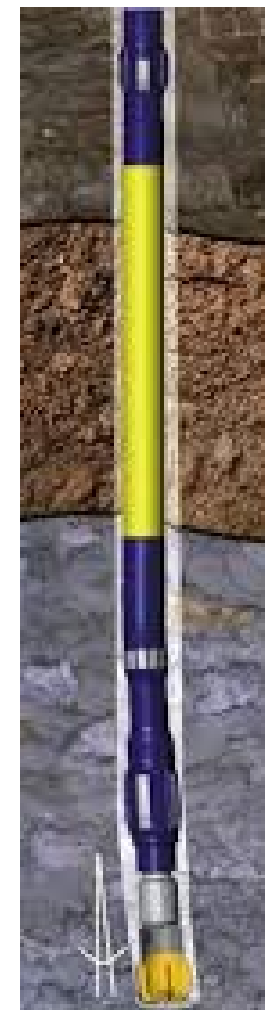
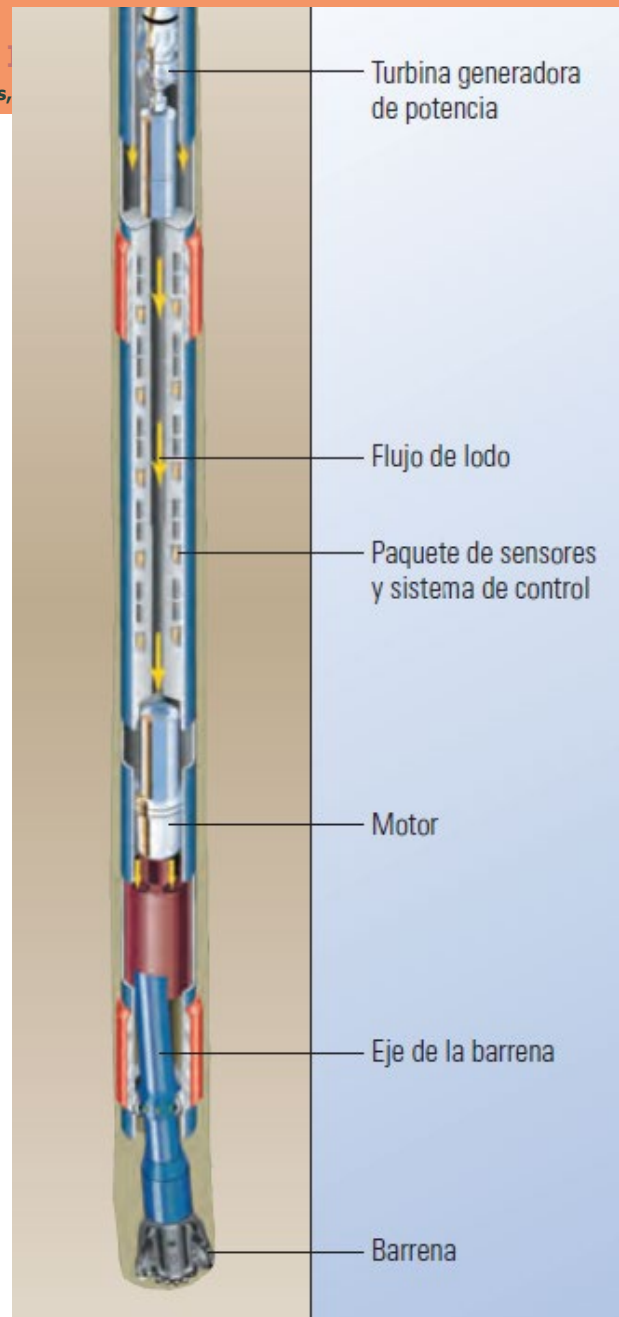




Técnicas de perforación direccional

Técnica Rotary + Sliding

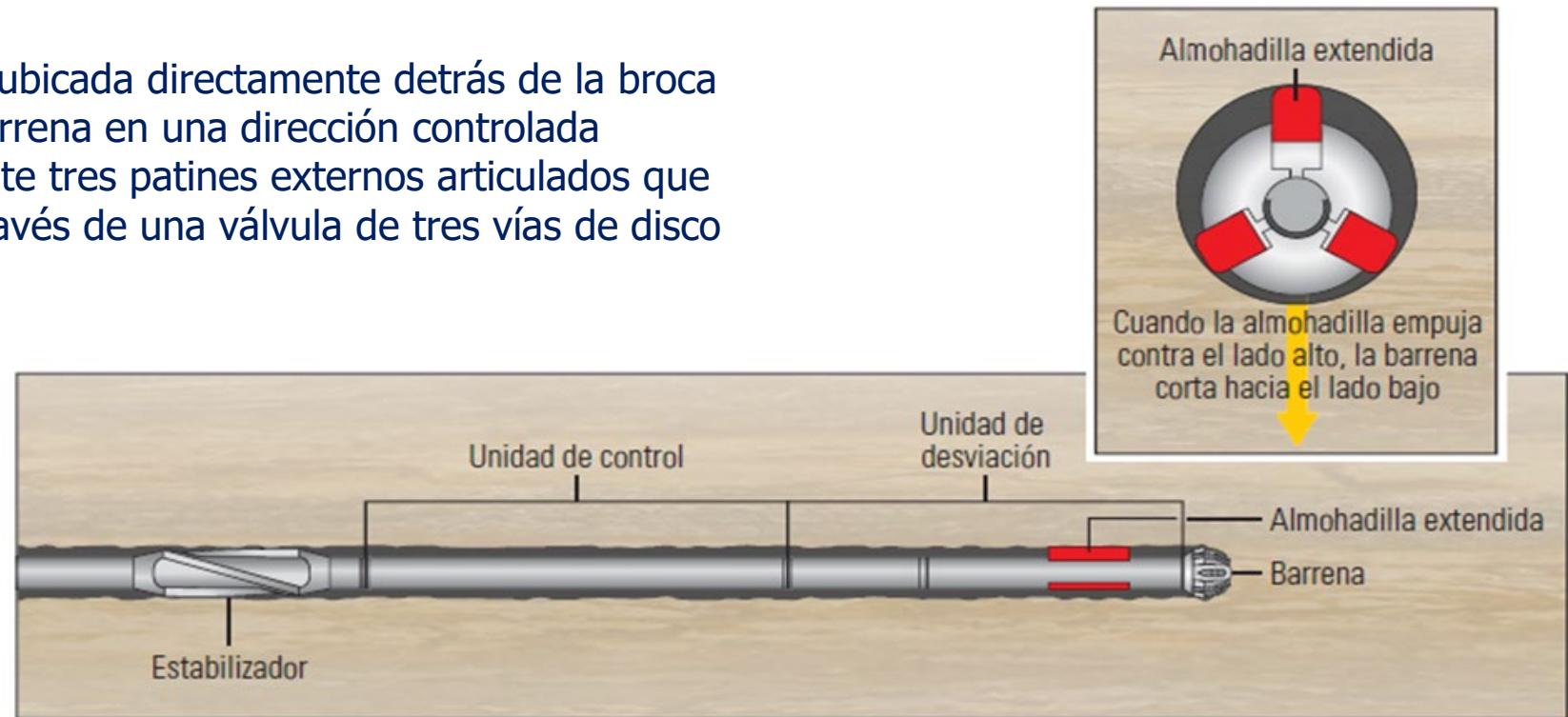
- La perforación direccional con motor de fondo se logra de dos modos:
 - Rotación (rotary).
 - Deslizamientos (sliding).
- En el modo rotación, la totalidad de la sarta de perforación rota y tiende a perforar hacia adelante.
- En el modo deslizamiento (sliding) se utiliza para iniciar los cambios de dirección y rectificación de la trayectoria.
- Este sistema de rotary + sliding tiene el gran problema de crear tortuosidad en la trayectoria del pozo.



Técnicas de perforación direccional

Rotary Steerable System "RSS"

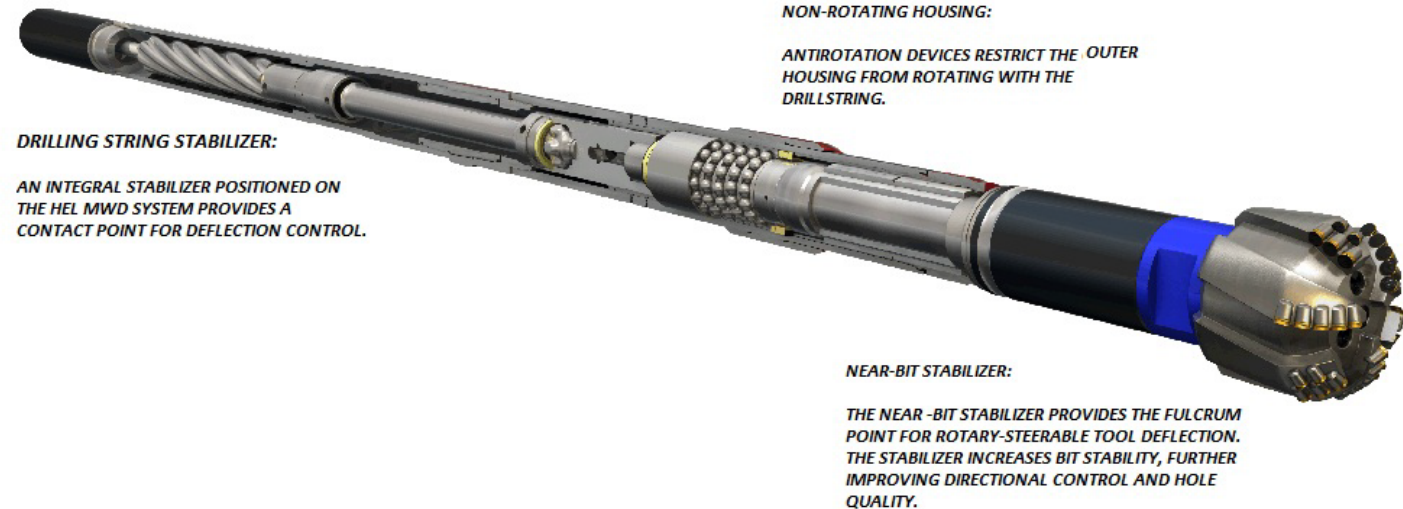
- Los sistemas rotativos direccionales permiten la rotación continua mientras se controla la dirección de la broca.
- Comprende una unidad de desviación ubicada directamente detrás de la broca que aplica una fuerza sobre toda la barrena en una dirección controlada mientras toda la columna gira, mediante tres patines externos articulados que son activados por el flujo del lodo a través de una válvula de tres vías de disco rotativo.



Técnicas de perforación direccional

■ Rotary Steerable System "RSS"

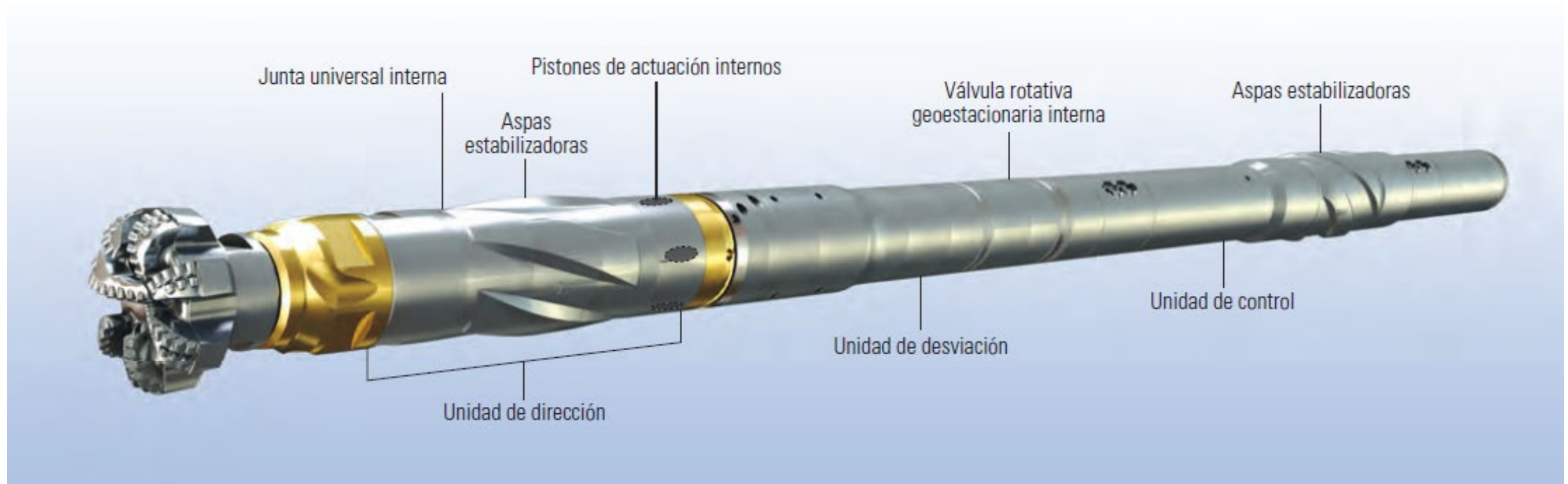
- Un eje conecta la válvula rotativa con la unidad de control.
- La unidad de control mantiene la posición angular adecuada del eje impulsor en la formación.
- la unidad de control puede dirigirse para mantener un ángulo de rotación determinado.
- Los sensores acelerómetro y magnetómetro de tres ejes proporcionan información sobre la inclinación y el acimut del taladro, así como la posición angular del eje motor.



Técnicas de perforación direccional

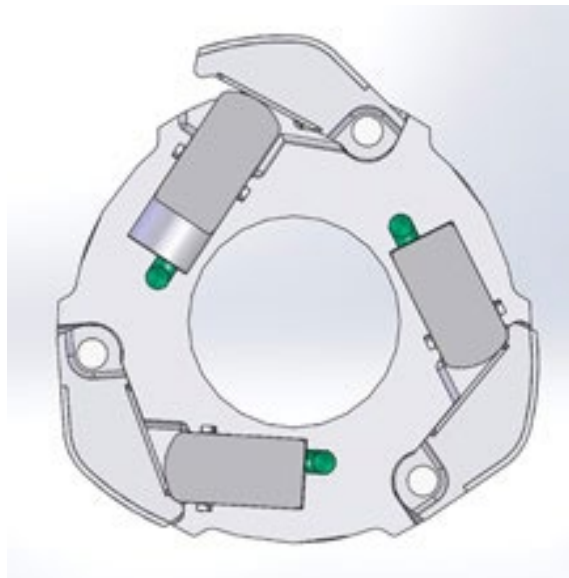
■ Rotary Steerable System "RSS"

- La herramienta se puede adaptar a las necesidades específicas de la superficie y se puede preprogramar según las variaciones previstas de inclinación y dirección.
- La unidad MWD y los sensores de la unidad de control transmiten la información a la superficie mediante un sistema de comunicación por pulsos (Power Pulse)

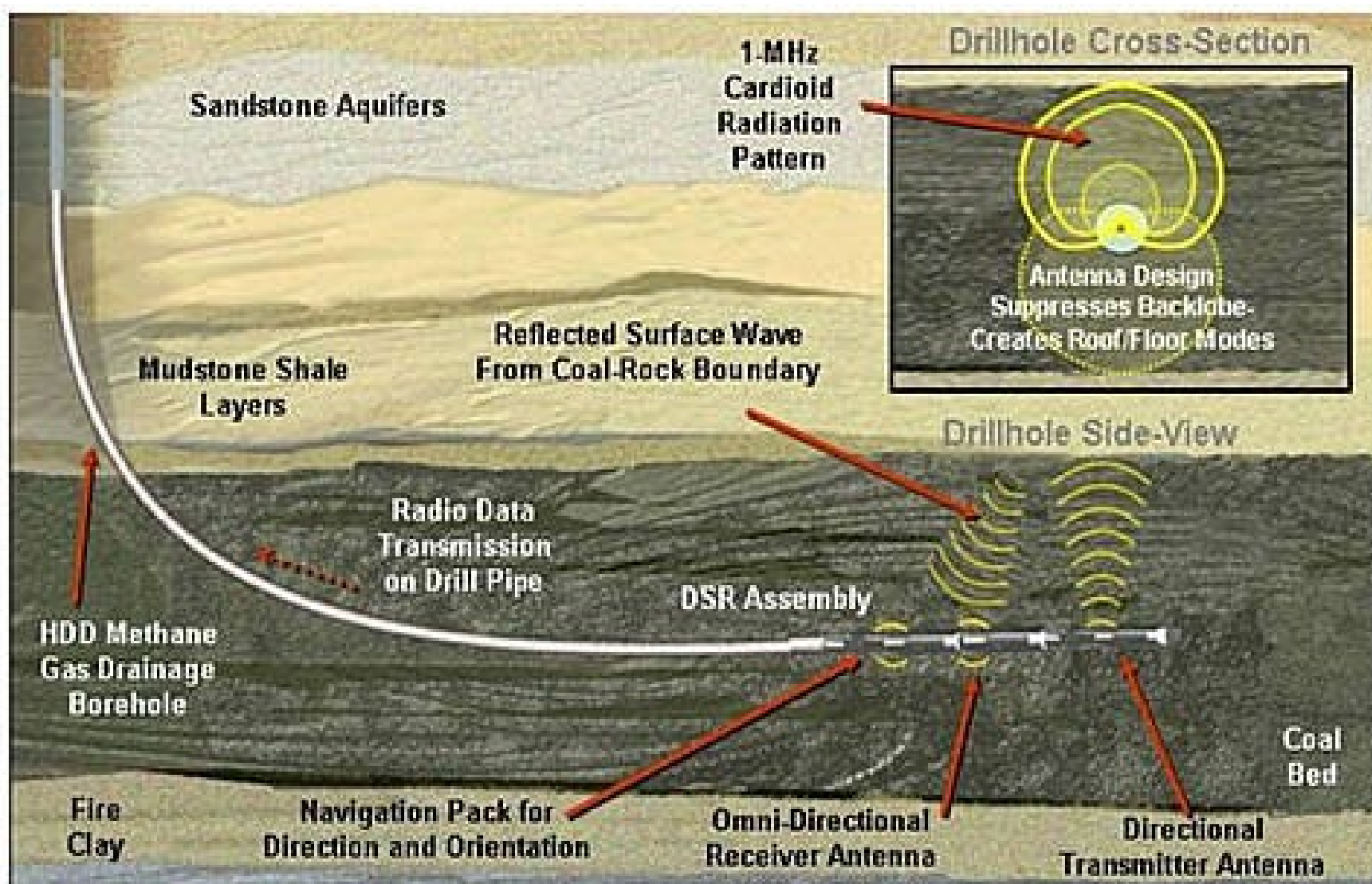


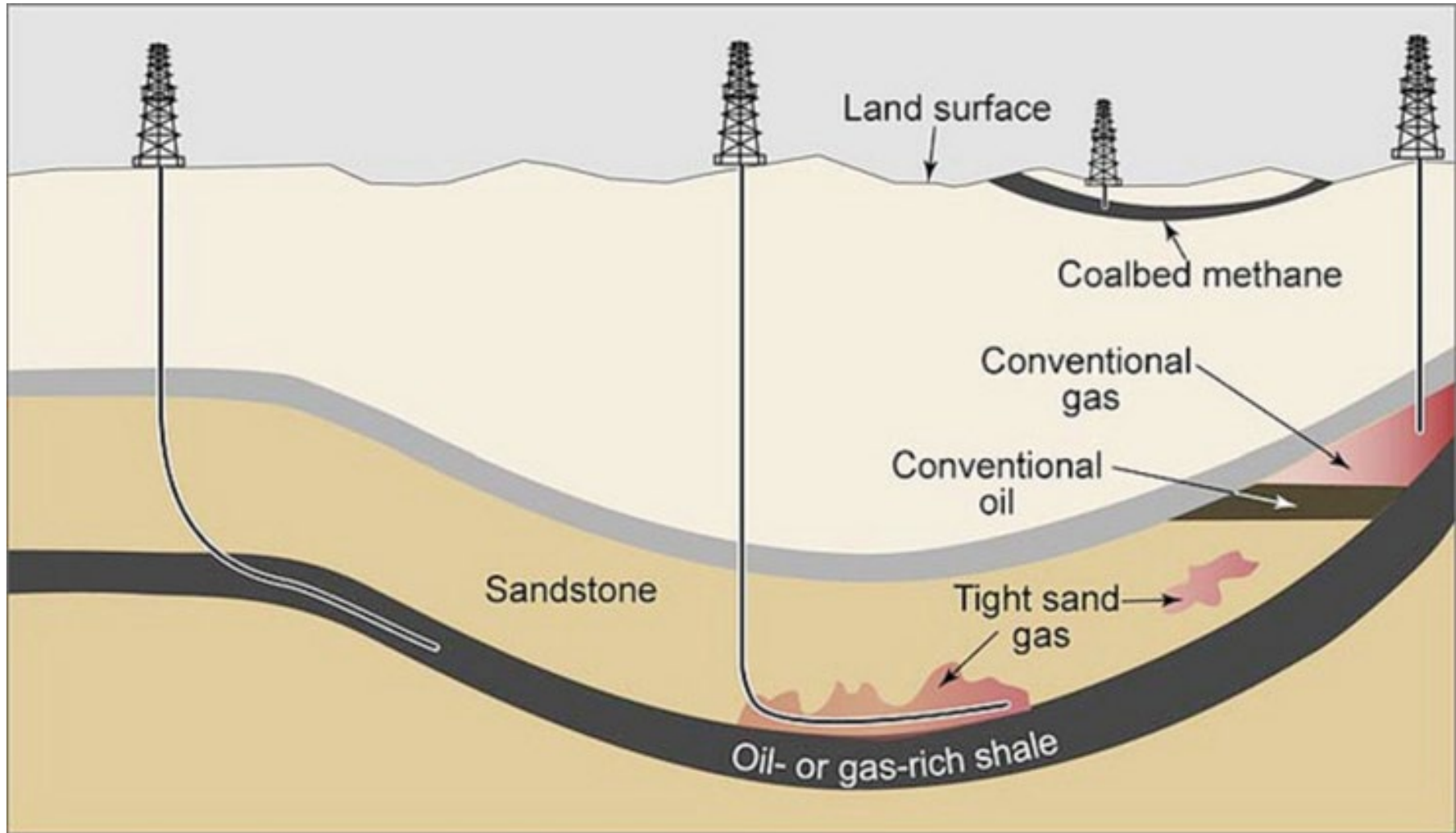


Fuente APS Technology



Fuente APS Technology

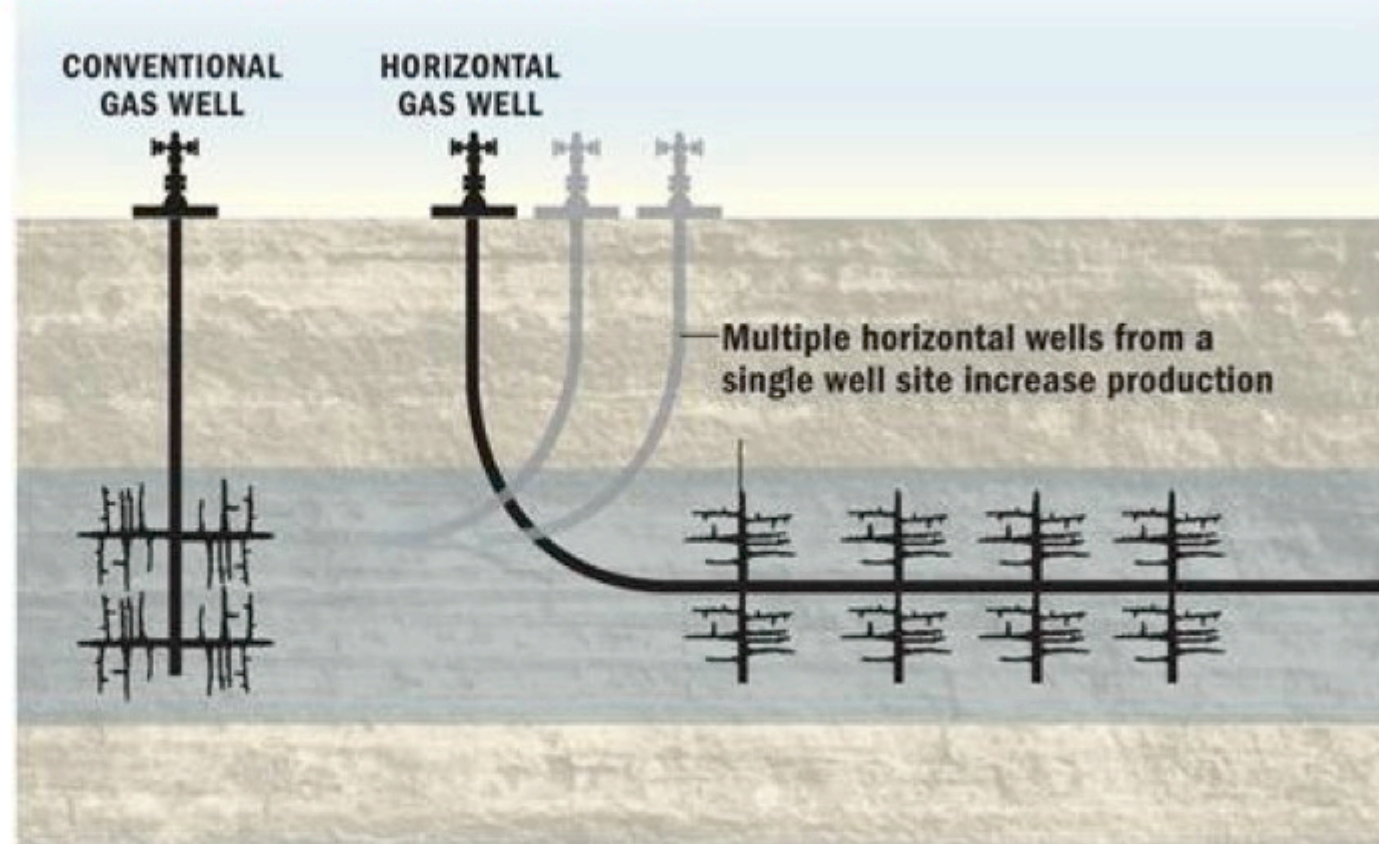




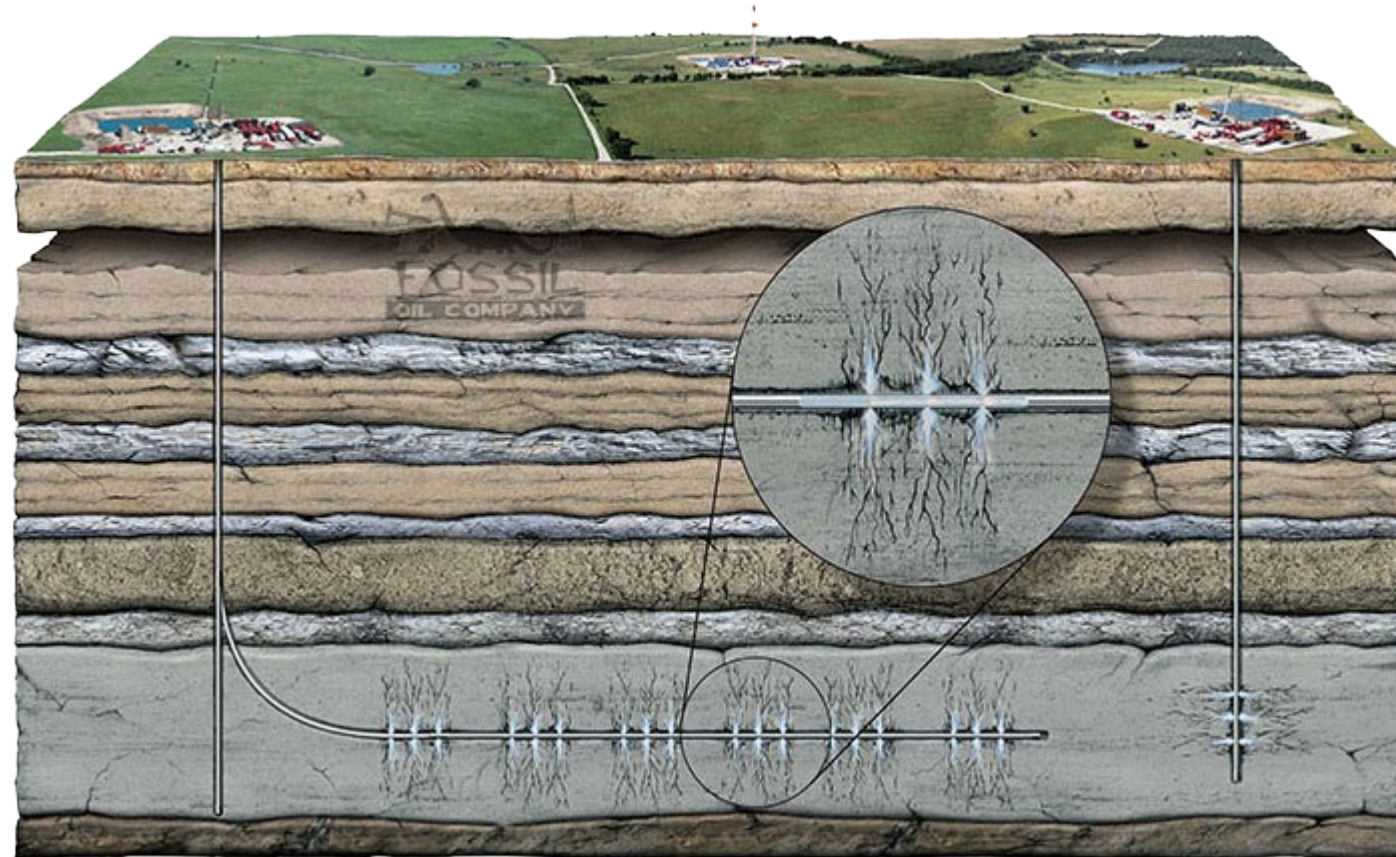
Sources: U.S. Energy Information Administration and U.S. Geological Survey.

WHY HORIZONTAL DRILLING IS MORE PRODUCTIVE

Drilling a horizontal well can cost three to six times more than a conventional vertical well. Industry officials say one horizontal well can replace as many as six vertical wells. As many as six horizontal wells can be drilled, each sent in a different direction from the same surface site, replacing more than 30 vertical wells.



TOM BAKER | DISPATCH



A Conventional Well

24" conductor casing (brown) is installed up to 50 feet deep and cemented (grey) to the surface.

20" casing is installed through the 24" casing and continuing up to 500 feet deep. This casing is cemented to surface to isolate and protect near-surface groundwater.

13 3/8" casing is installed through the 20" casing and continuing up to 1000 feet deep. This casing is also cemented to the surface to protect the groundwater aquifer from the gas well.

5 1/2" casing installed to the production zone

Production Zone

Perforations

A Horizontal Well

Fresh groundwater zone up to 1000 feet deep

Vertical portion of well

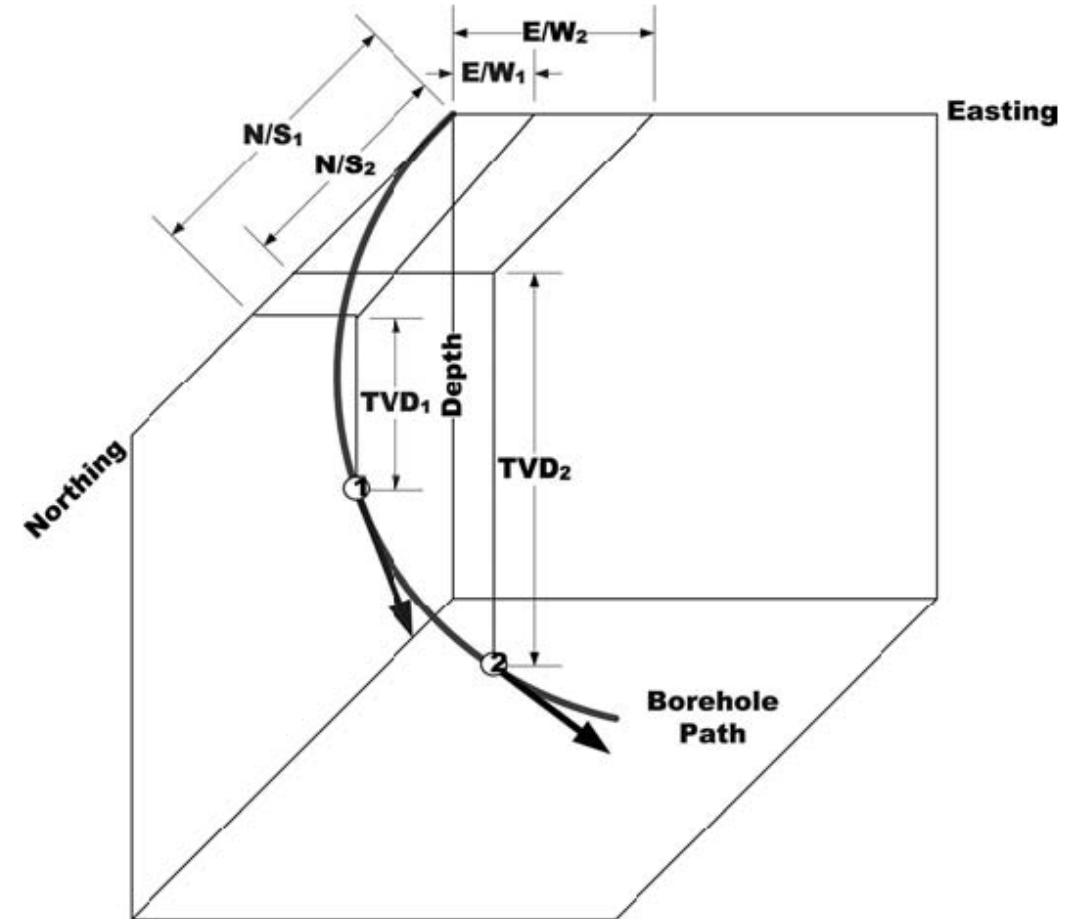
Kick off point for the bend from vertical to horizontal drilling.

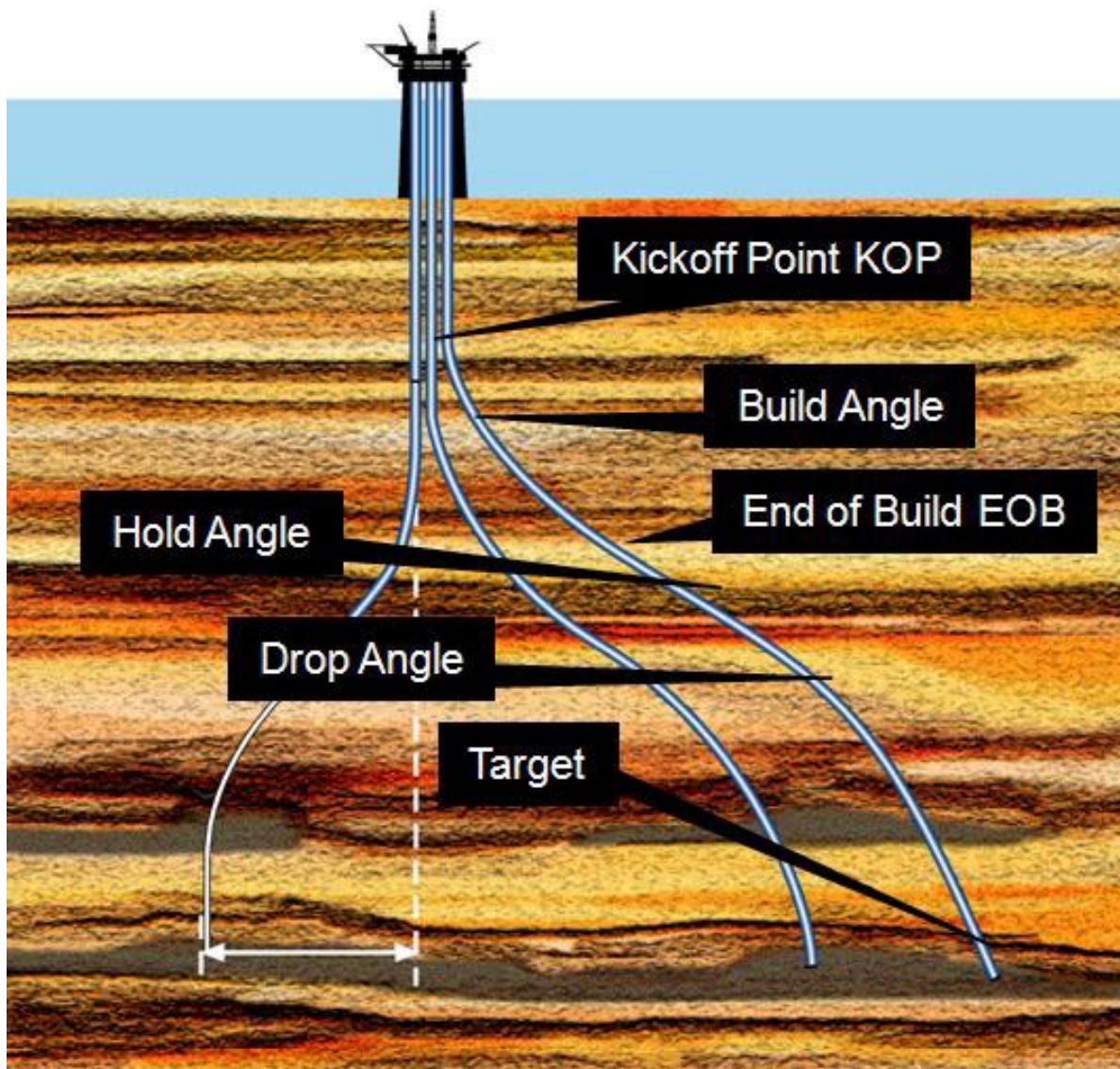
Horizontal, "lateral" portion of well extends from 3,000 to over 10,000 feet within Marcellus formation.

Modified from a diagram by
Marcellus Center For Outreach
www.marcellus.psu.edu

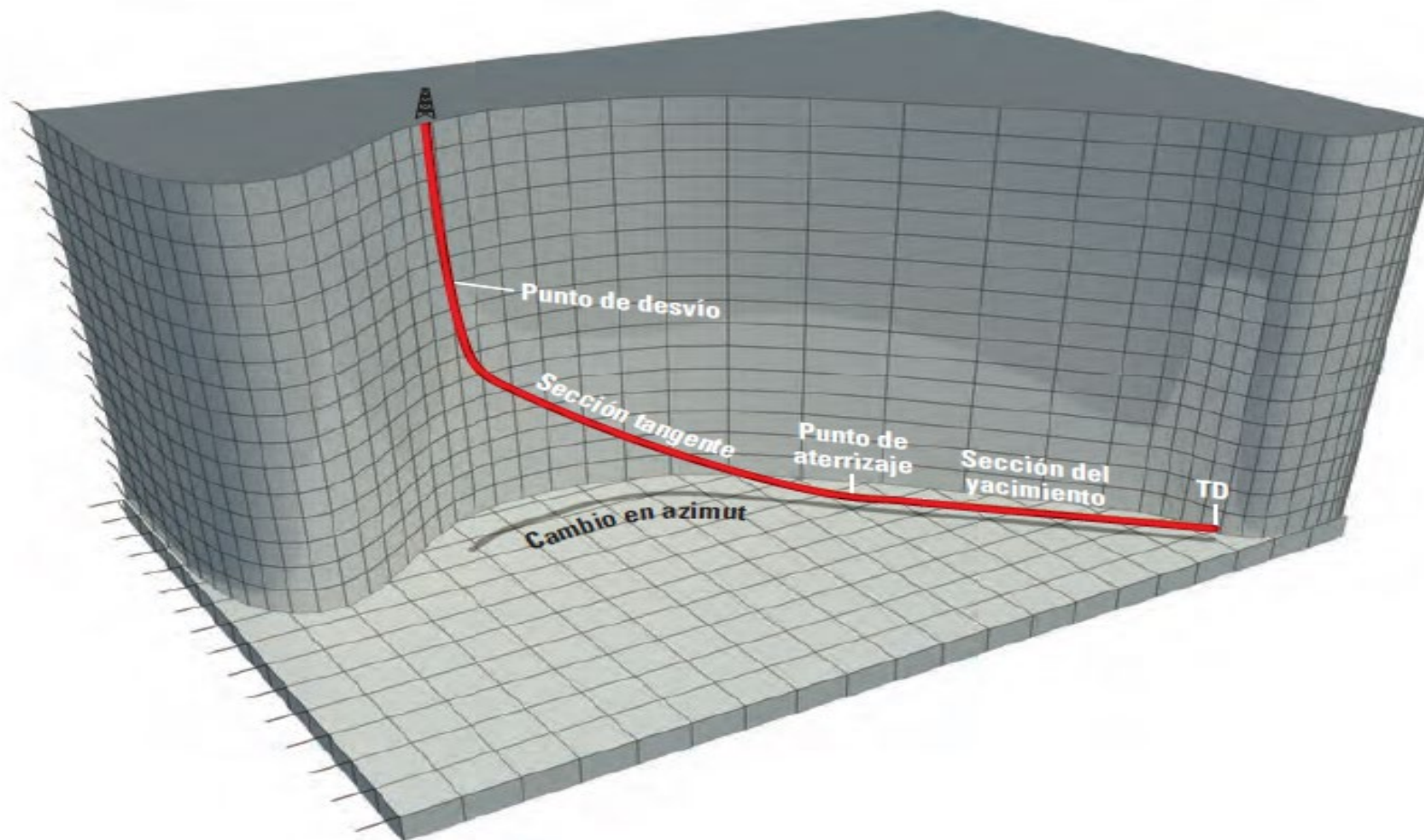
Características de un perfil de pozo direccional

- El aspecto más importante de la perforación direccional es mantener la orientación en un espacio tridimensional.
- Se necesitan tres medidas para referenciar la perforación desde la superficie: inclinación, azimut y profundidad.
 - Inclinación (ϕ), ángulo relativo a la vertical.
 - Azimut (θ): Ángulo al Norte Verdadero en la perforación horizontal.
 - Profundidad (MD-Measured depth, Profundidad medida): distancia a lo largo del levantamiento.





Características de un perfil de pozo direccional



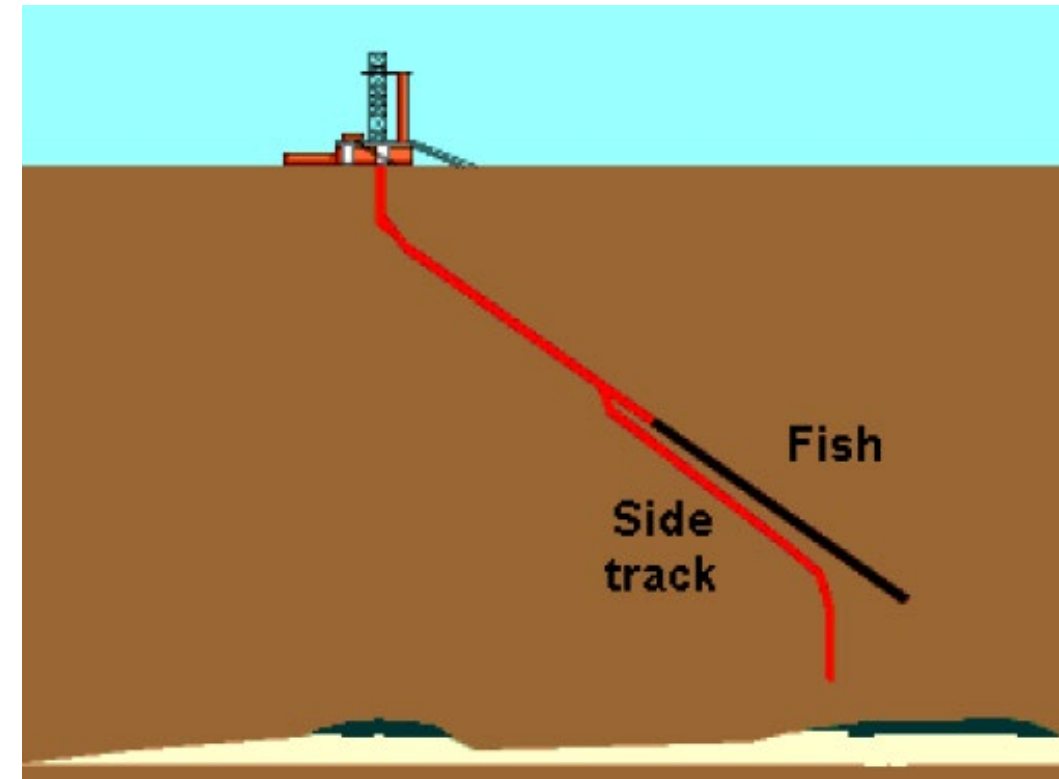
3

Aplicaciones.

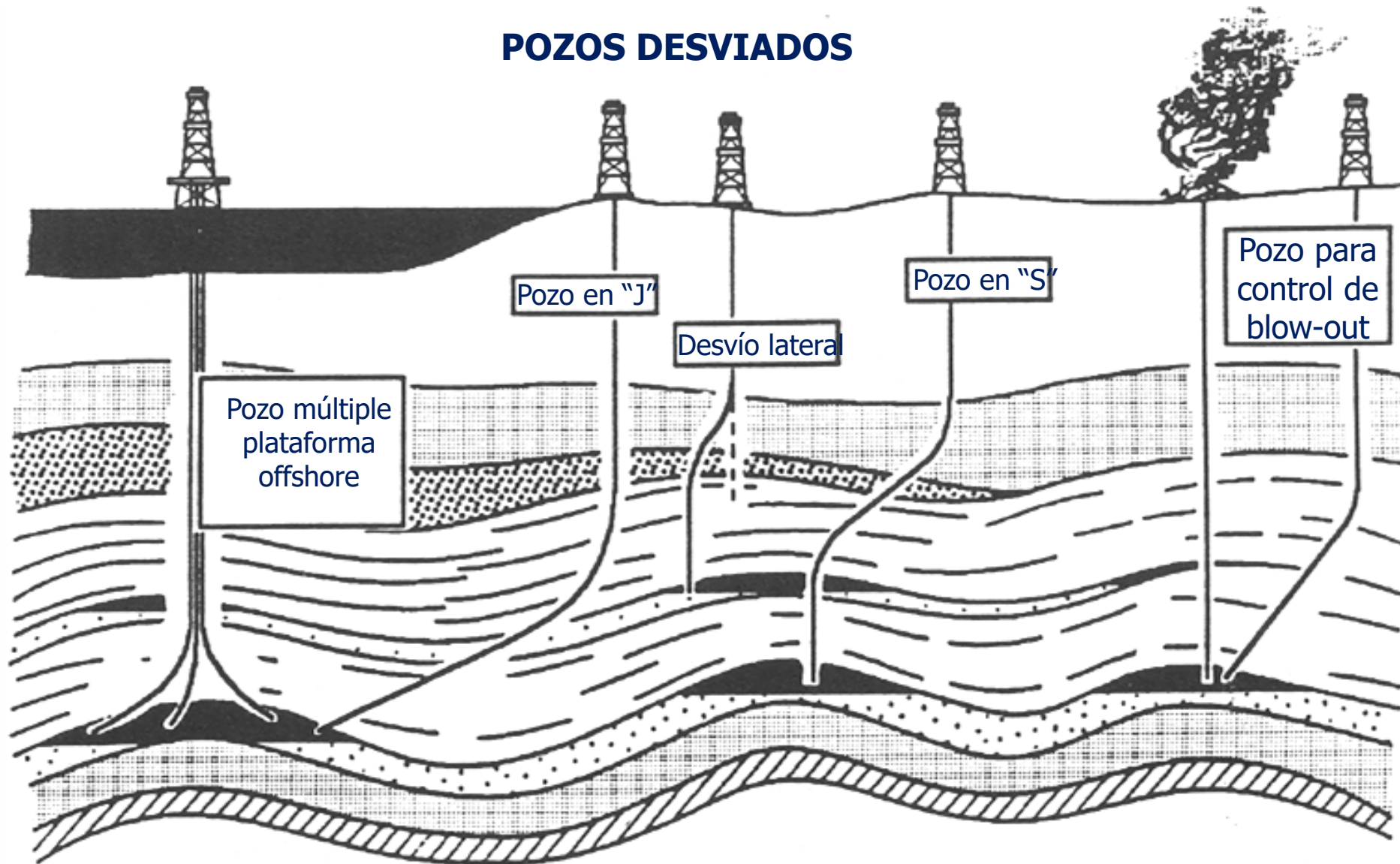
Aplicaciones de pozos direccionales

■ Sidetracking

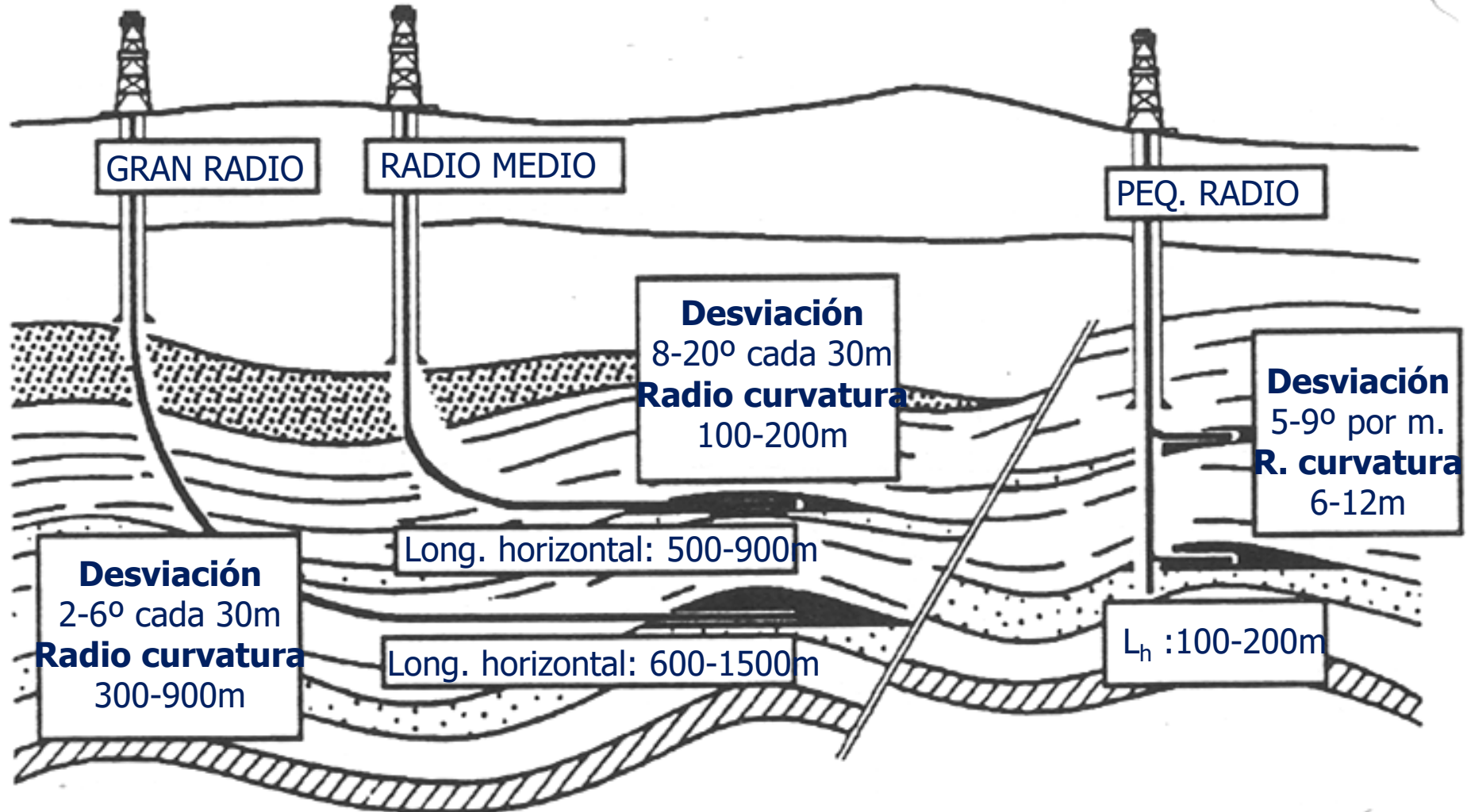
- Sidetracking: El desvío era la técnica de perforación direccional original utilizada para sortear peces (obstrucciones).
- Las desviaciones orientadas, el tipo más común de desvío, se realizan cuando hay cambios inesperados en la geología y obstrucciones en el camino del pozo.



POZOS DESVIADOS



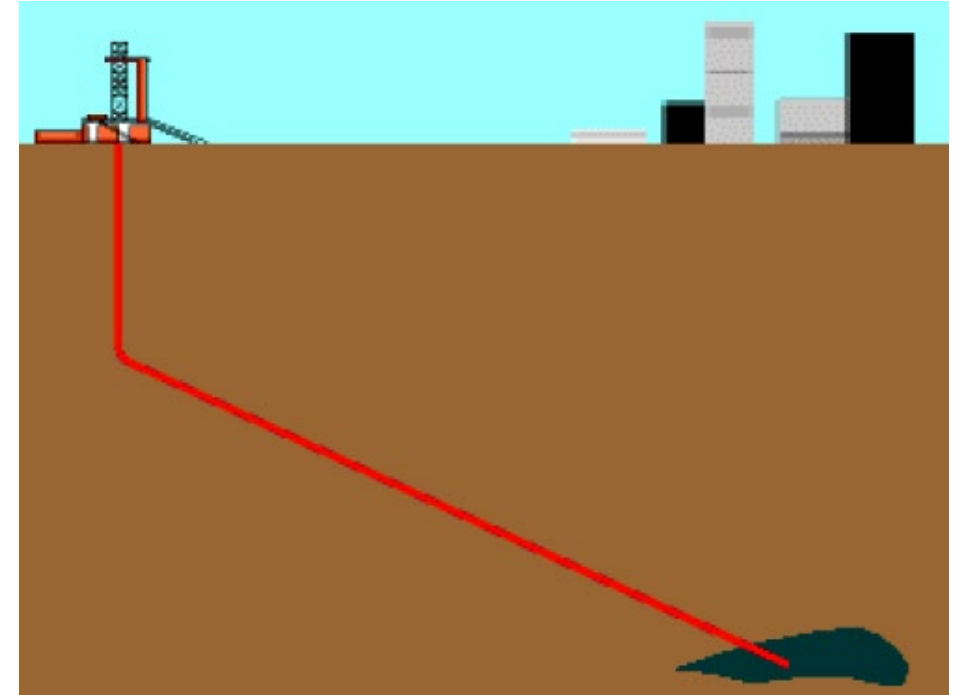
POZOS HORIZONTALES



Aplicaciones de pozos direccionales

■ Ubicaciones inaccesibles

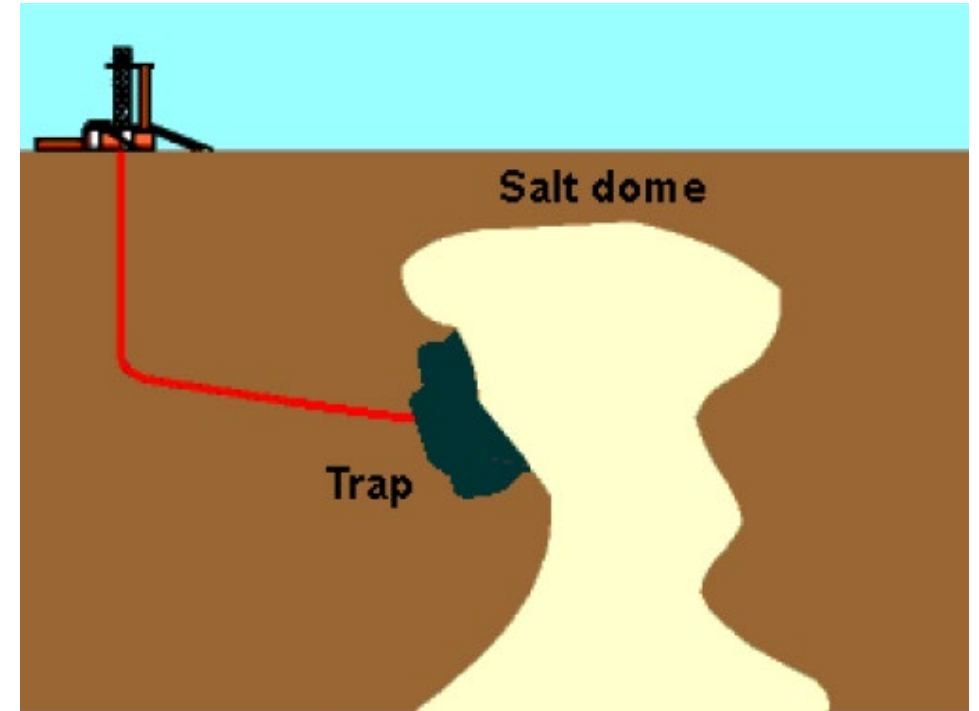
- Lugares inaccesibles como objetivos ubicados debajo de ciudades, ríos o áreas ambientalmente sensibles hacen necesario ubicar la plataforma de perforación a cierta distancia del objetivo.



Aplicaciones de pozos direccionales

■ Perforación de domos de sal

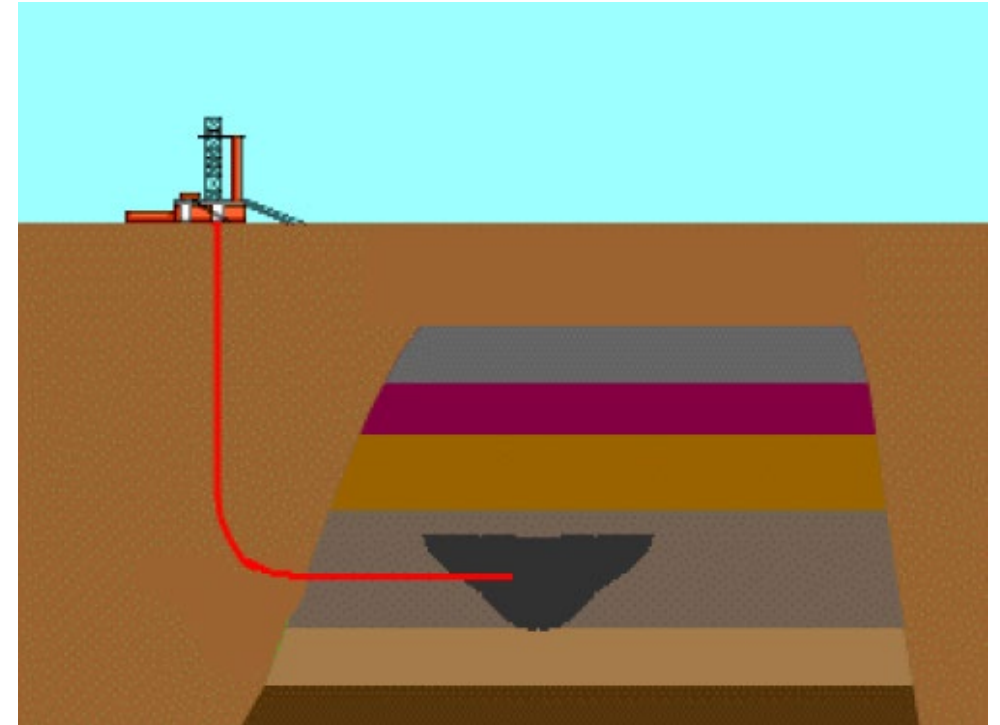
- Se ha descubierto que los domos de sal son trampas naturales de hidrocarburos que se acumulan debajo de la capa dura que sobresale.
- Se utiliza un pozo direccional para llegar al yacimiento atrapado para evitar los problemas asociados con la perforación de un pozo a través de la formación de sal.



Aplicaciones de pozos direccionales

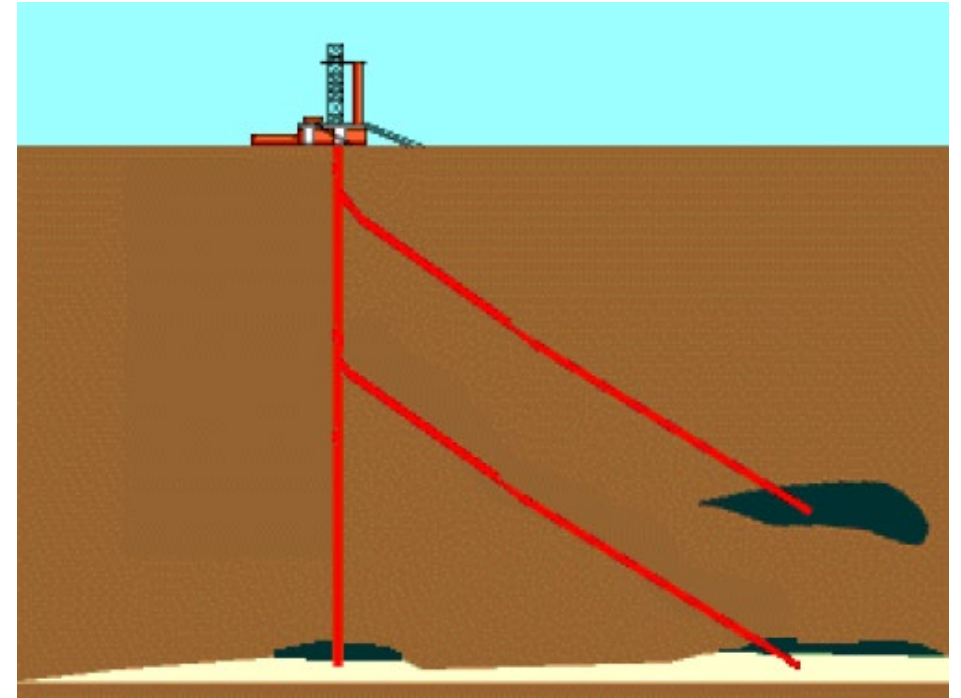
■ Control de fallas

- El control de fallas es una aplicación que se utiliza para perforar un pozo direccional en formaciones subterráneas con fallas sin cruzar la línea de falla.



Aplicaciones de pozos direccionales

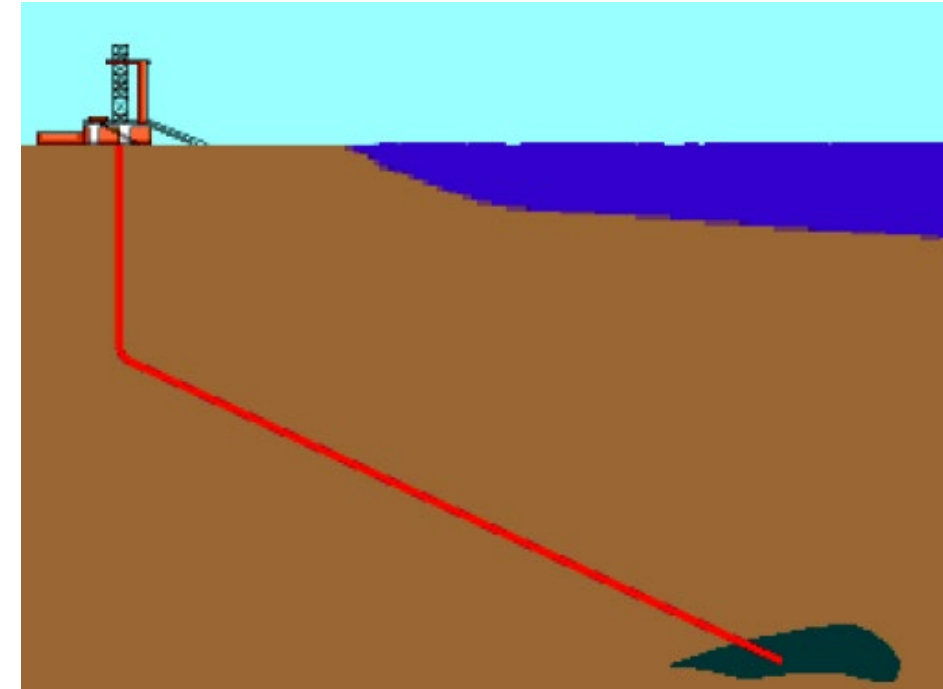
- **Pozos múltiples de exploración a partir de un único pozo**
 - Perforación de múltiples pozos de exploración a partir de un único pozo a partir de desvíos desde el pozo original a una cierta profundidad.
 - Permite la exploración de ubicaciones estructurales sin necesidad de perforar otro pozo completo.



Aplicaciones de pozos direccionales

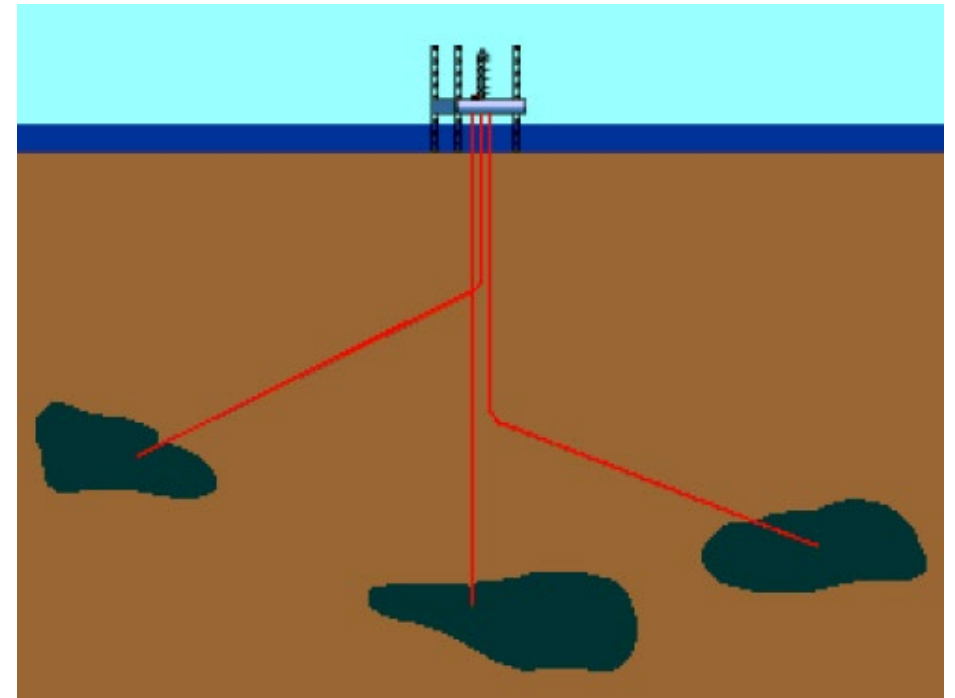
■ Perforación en tierra (Onshore Drilling) hacia ubicaciones en el mar (Offshore Locations):

- La perforación en tierra se lleva a cabo cuando un depósito se encuentra debajo de grandes masas de agua que están dentro del alcance de la perforación desde tierra.
- Las bocas de los pozos están ubicadas en tierra y el pozo se perfora direccionalmente debajo del agua para llegar al depósito.
- Esta técnica ahorra dinero porque las plataformas terrestres son mucho más baratas que las plataformas marinas.



Aplicaciones de pozos direccionales

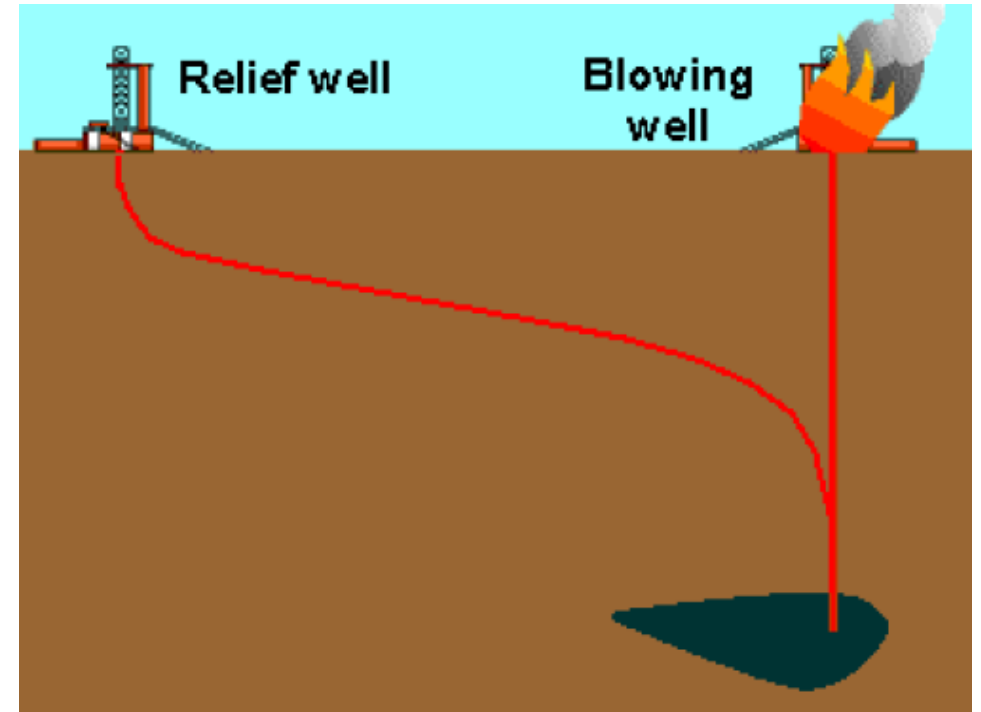
- **Offshore Multiwell Drilling (perforación multipozo offshore)**
 - La perforación de pozos múltiples en alta mar es la forma más económica de desarrollar campos marinos.
 - Se perforan varios pozos direccionales en "grupos" en una plataforma marina de múltiples pozos.



Aplicaciones de pozos direccionales

■ Pozos de alivio (Relief Wells)

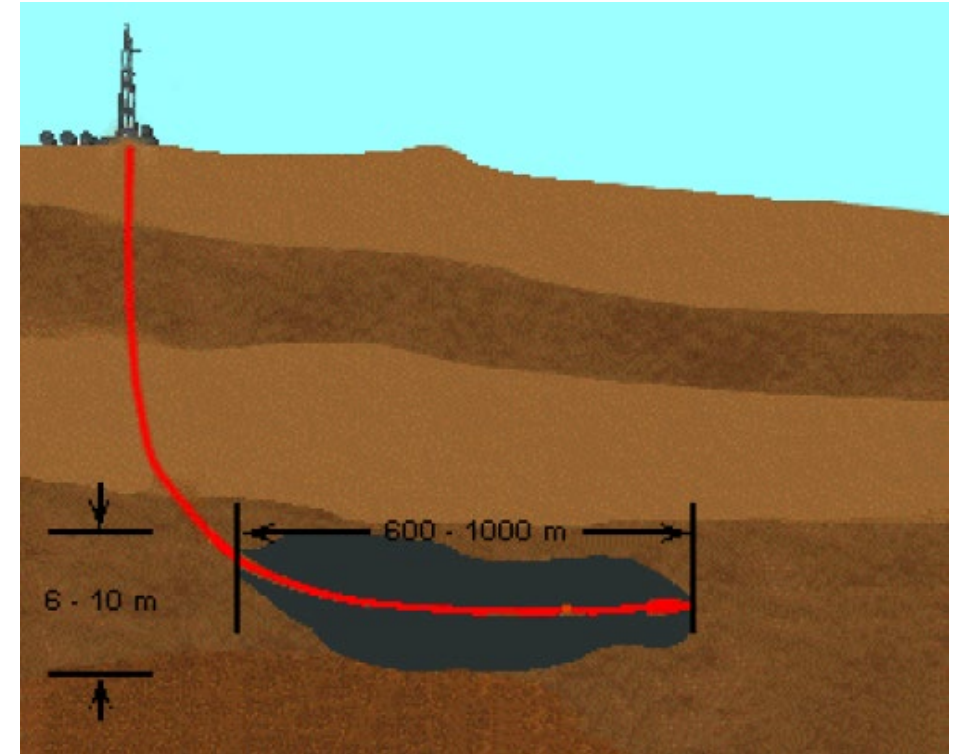
- Los pozos de alivio se utilizan para matar los pozos que están explotando al interceptar el pozo.
- Se debe perforar un pozo direccional cuidadosamente planificado con gran precisión para localizar e interceptar el pozo de soplado.



Aplicaciones de pozos direccionales

■ Pozos horizontals

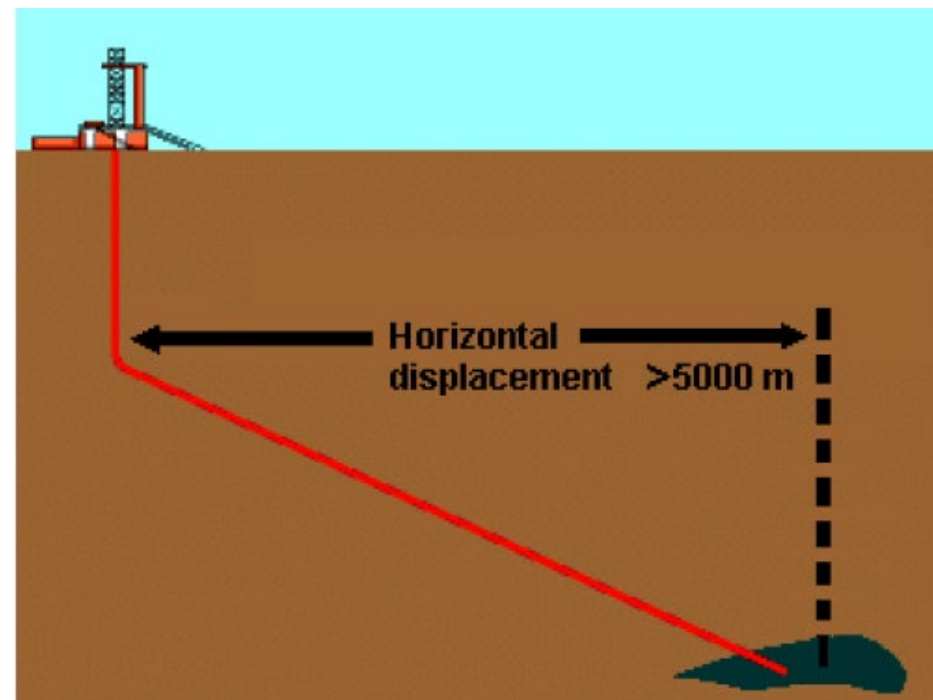
- Los pozos horizontales se utilizan para cruzar horizontalmente una formación productora para producir mejor el yacimiento.
- La perforación horizontal aumenta la superficie de una formación productora. Por ejemplo, un pozo vertical puede dar exposición a una reserva con una profundidad de 20 a 30 pies (6 a 10 m), mientras que un pozo horizontal perforado en el mismo yacimiento puede dar exposición a 2000 a 3000 pies (600 a 1000 m).
- Los pozos horizontales pueden hacer que una plataforma sea rentable, donde antes no lo era.



Aplicaciones de pozos direccionales

■ Pozos de alcance extendido

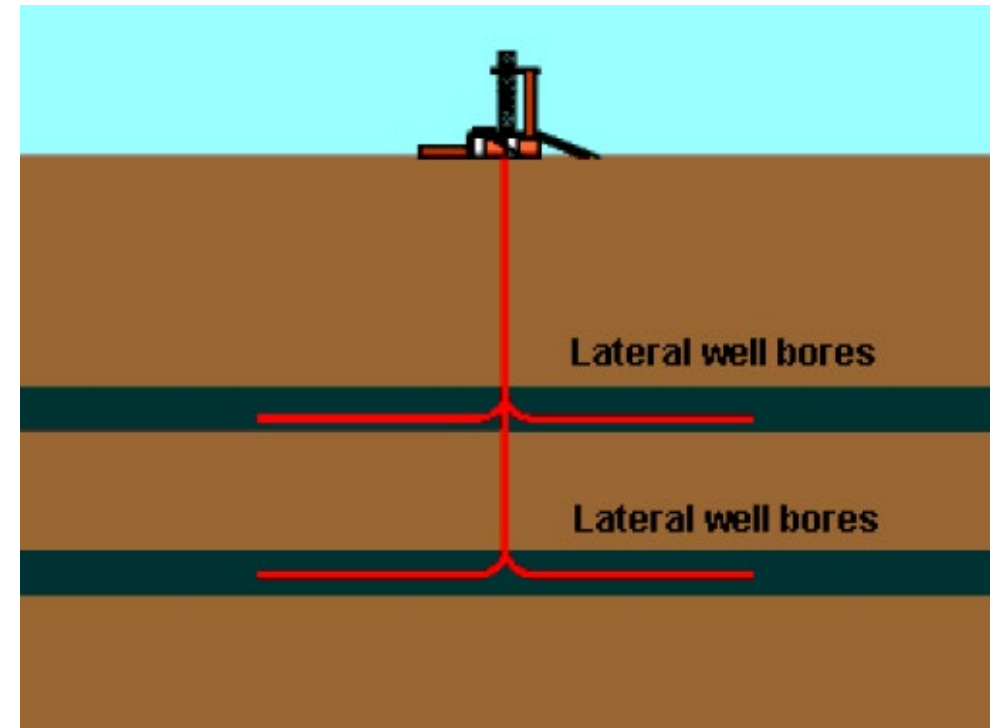
- Los pozos horizontales se utilizan para llegar a yacimientos que tienen un desplazamiento horizontal superior a 5 000 m desde el punto de partida (pozos de alcance extendido).



Aplicaciones de pozos direccionales

■ Pozos multilaterales

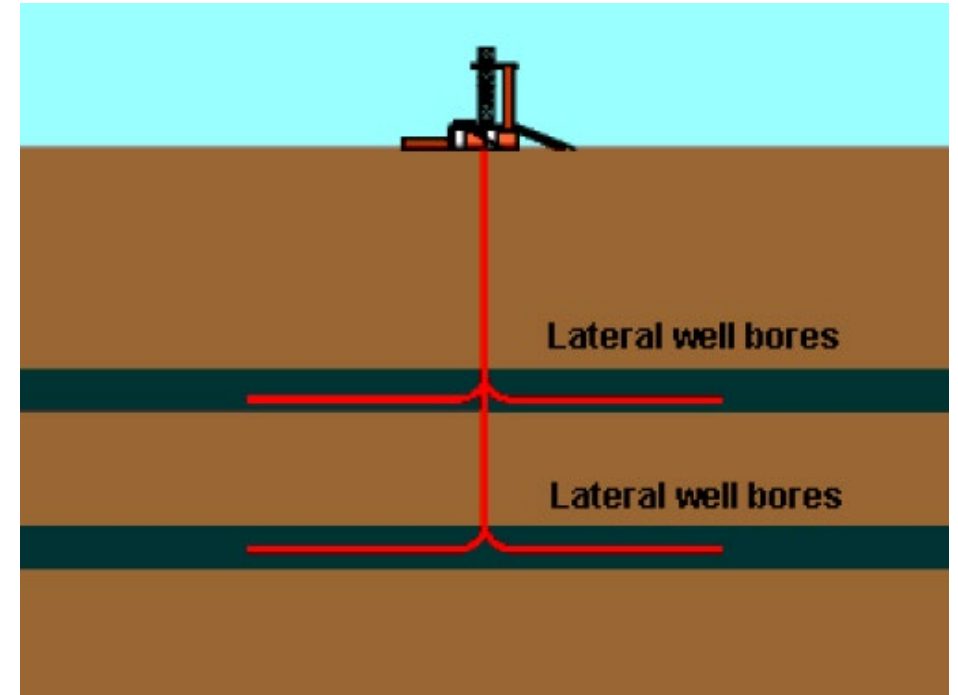
- Los pozos multilaterales tienen varios pozos que corren lateralmente y se originan en un pozo original.



Aplicaciones de pozos direccionales

■ Pozos de radio corto, medio y largo

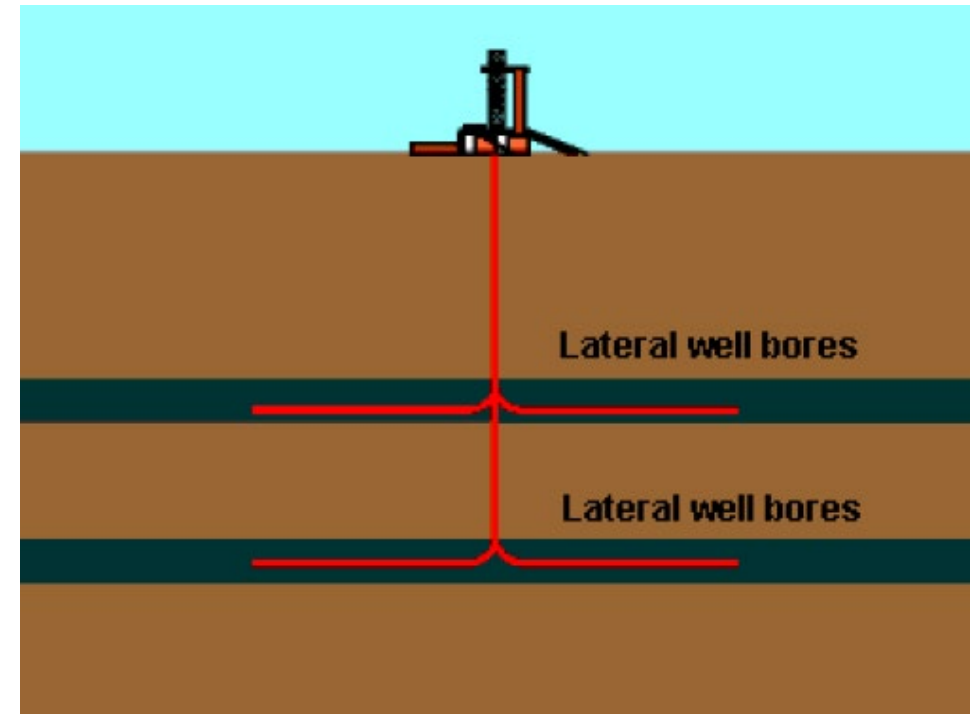
- Los pozos de radio corto, típicamente reingresos de pozos verticales antiguos tienen curvas con un radio de 44 m (143 pies) o menos que no se pueden perforar con motores convencionales.
- Se utilizan para aislar zonas de producción de mayor o menor presión o arenas de agua sin fraguar ni cementar un revestimiento.
- Este tipo de perforación es deseable cuando se inicia debajo de una formación problemática.



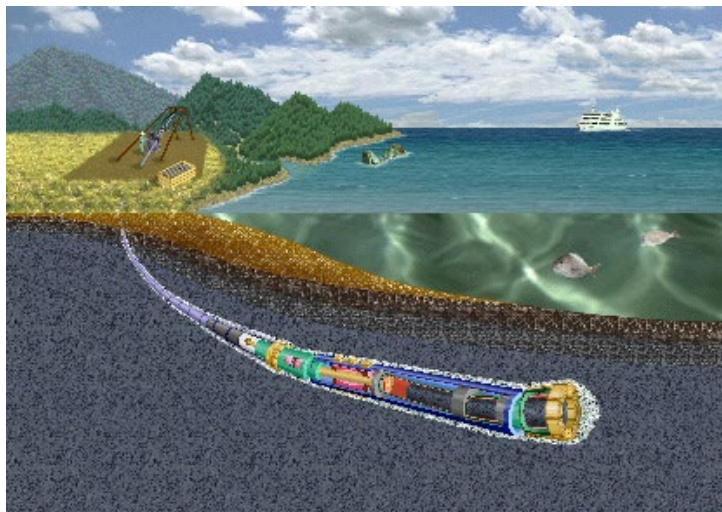
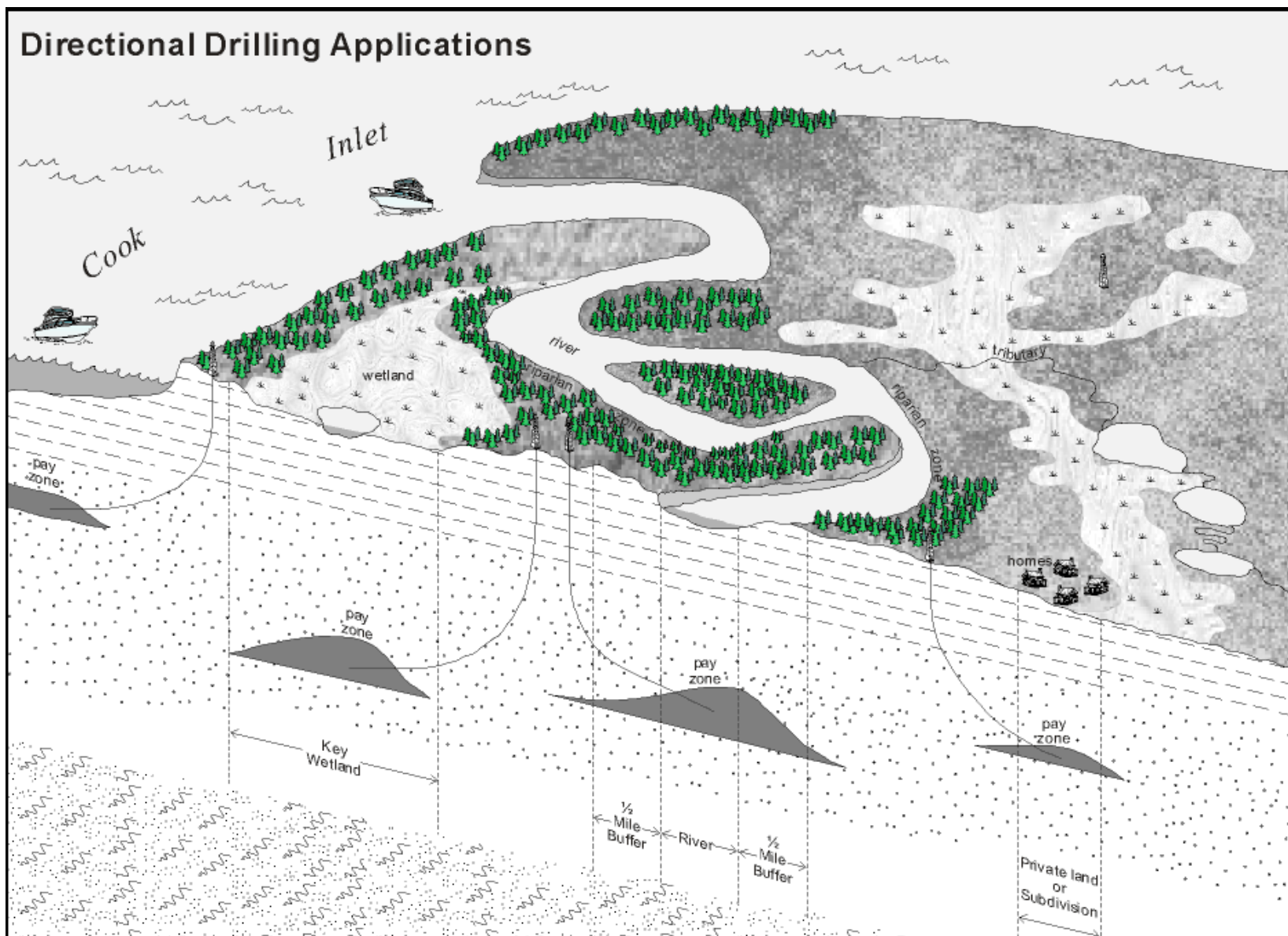
Aplicaciones de pozos direccionales

■ Pozos de radio corto, medio y largo

- Los pozos de radio medio tienen curvas con un radio de 61 a 152 m (200 a 500 pies) que pueden perforarse con motores convencionales.
- Los pozos de radio largo tienen curvas con un radio de 229 m (750 pies) o más que también se pueden perforar con motores convencionales.

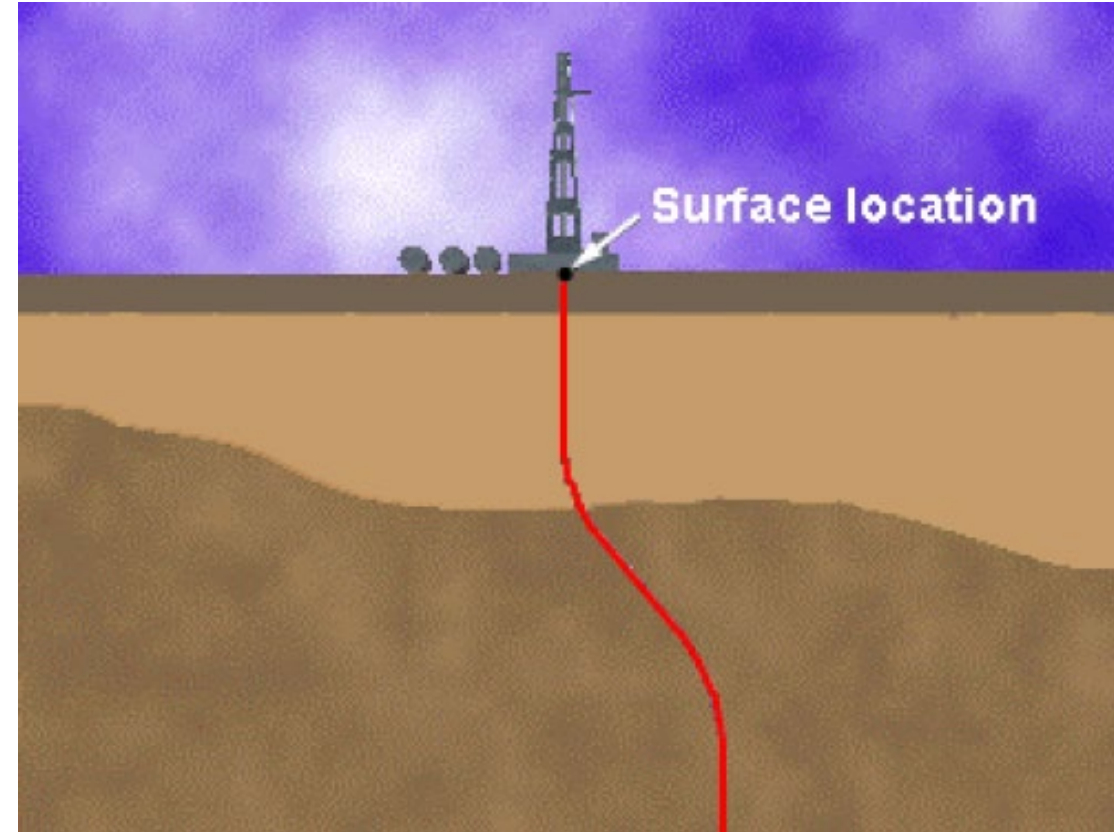


Directional Drilling Applications

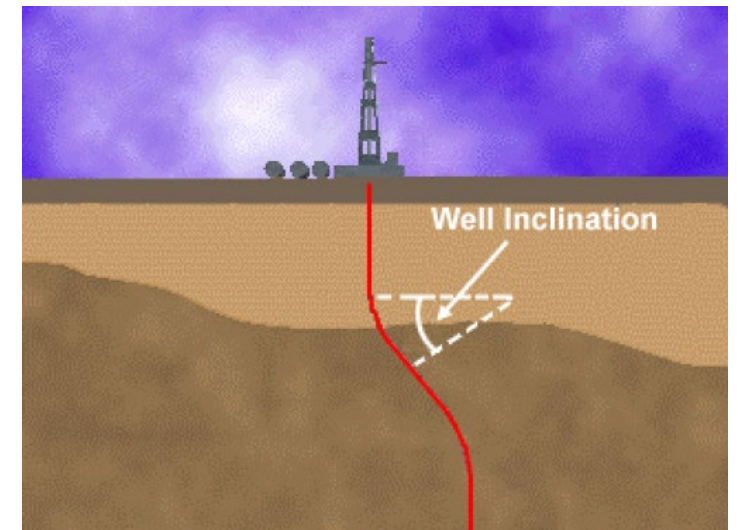
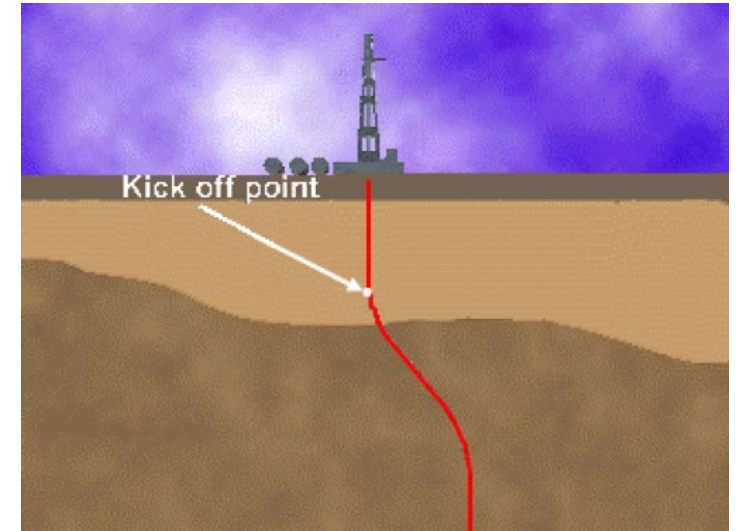


Características de un perfil de pozo direccional

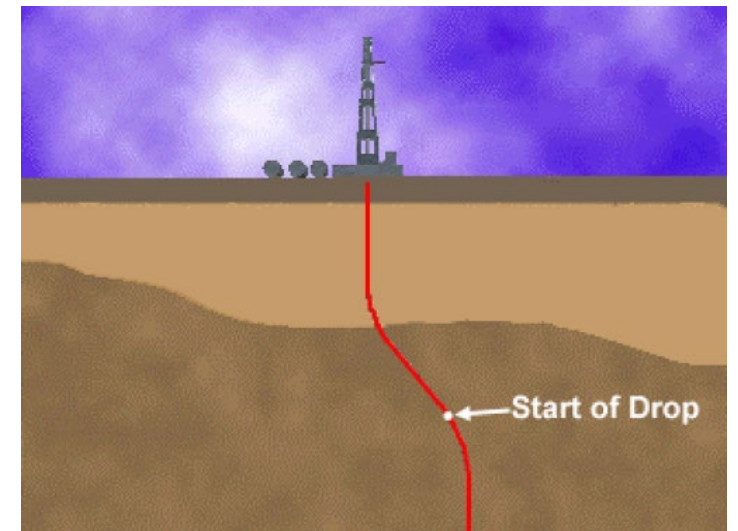
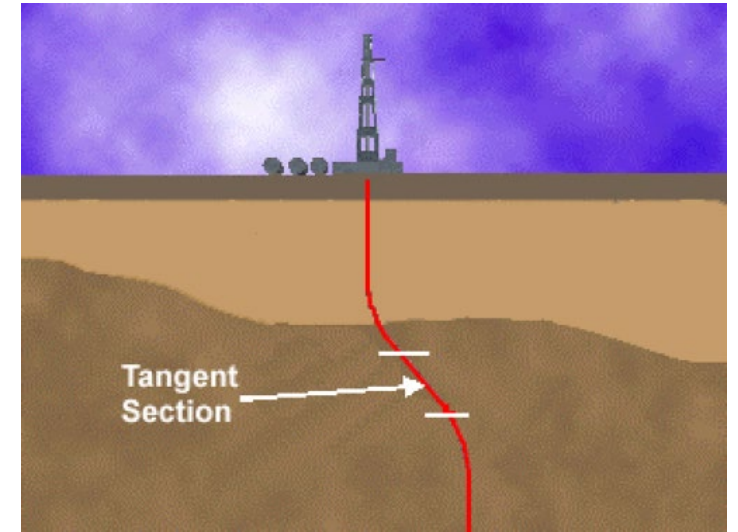
- Un perfil de pozo direccional es la trayectoria planificada del pozo desde la superficie hasta la profundidad de perforación final proyectando el pozo en dos planos trazados.
- Para determinar el mejor perfil geométrico del pozo desde la superficie hasta el objetivo del fondo del pozo, se debe conocer la siguiente información:
 - La posición de la ubicación de la superficie,
 - La posición de la ubicación objetivo, y
 - La profundidad vertical verdadera (true vertical depth - TVD).



- **Kickoff Point (KOP) o Punto de inicio:** El punto de inicio es la ubicación a una profundidad determinada debajo de la superficie donde el pozo se desvía en una dirección determinada.
- **Inclinación del pozo:** La inclinación del pozo es el ángulo en que el pozo se desvía de la vertical.

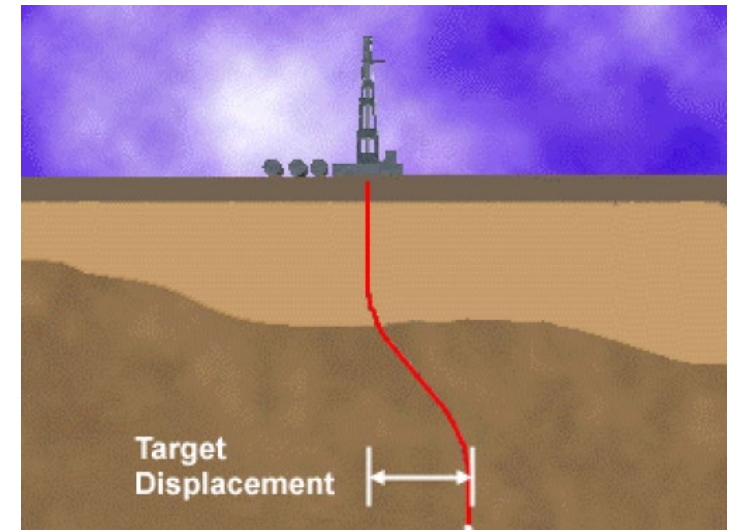
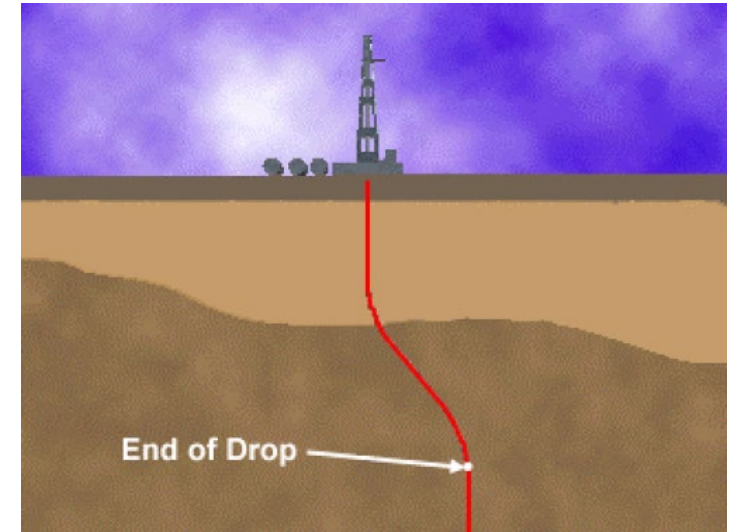


- **Tangent Section (Sección tangente):** La sección tangente (sección de retención) ocurre después de una reconstrucción donde la inclinación del pozo se mantiene constante durante una cierta distancia. Podría haber una caída adicional antes de alcanzar el objetivo.
- **Start of Drop (Inicio de la caída):** El inicio de la caída es el lugar donde el pozo comienza a caer en inclinación.

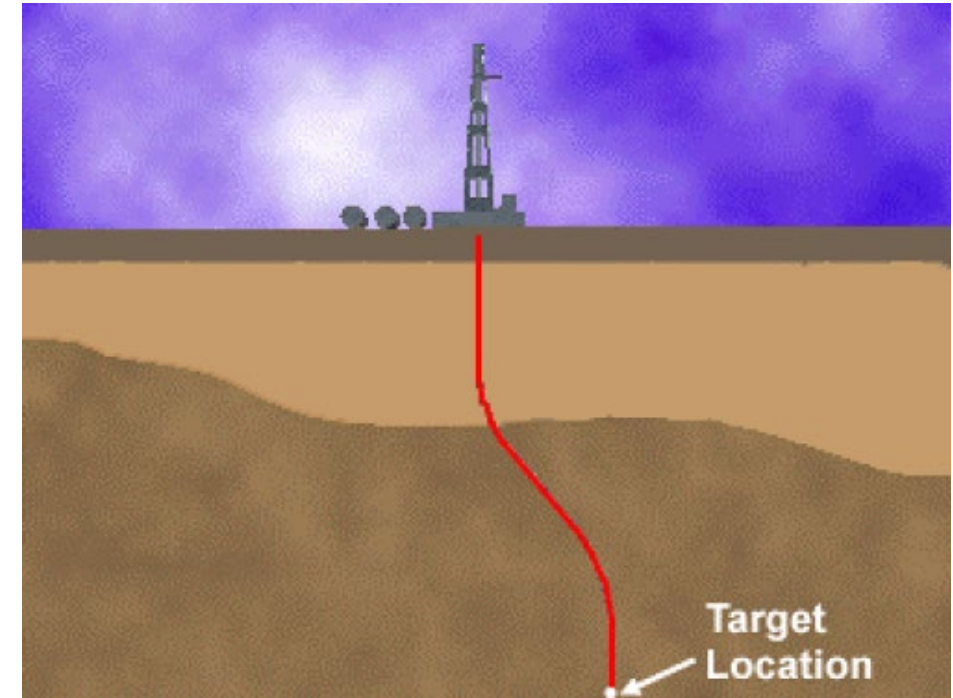


- **End of Drop (EOD) o Fin de caída:** El final de la caída es el lugar donde el pozo termina de bajar la inclinación.

- **“Target Displacement” o Desplazamiento objetivo:** El desplazamiento del objetivo es la distancia lateral desde la ubicación de la superficie hasta el objetivo.



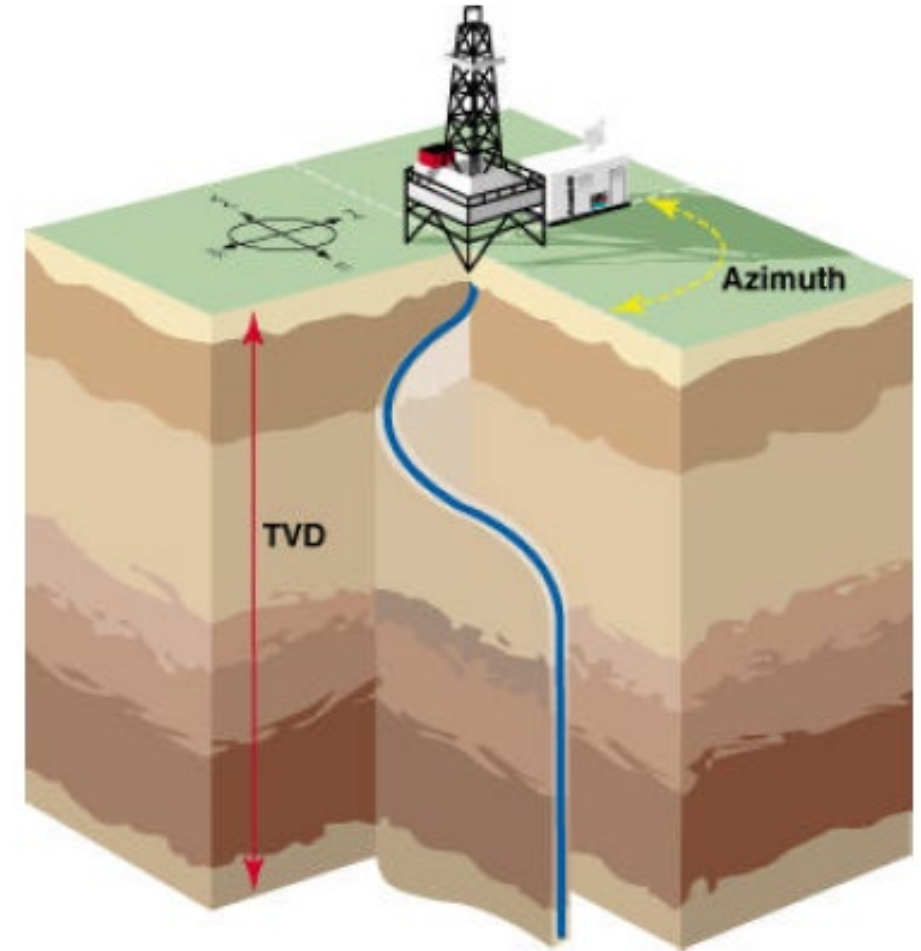
- **Target Location o Ubicación de destino:**
- La ubicación del objetivo es un punto definido en el espacio por coordenadas geográficas a una profundidad vertical verdadera determinada. Un perfil de pozo podría tener múltiples objetivos.
- **Drop Off Rate (DOR) o Tasa de caída:** La tasa de caída es la tasa a la que disminuye la inclinación. La tasa generalmente se expresa en grados por 100 pies o grados por 30 m de longitud del recorrido.
- **Buildup Rate (BUR) o Tasa de acumulación:**
 - La tasa de acumulación es el cambio de inclinación de un pozo donde aumenta el ángulo.
 - La tasa generalmente se expresa en grados por 100 pies o aumento angular por 30 m de profundidad medida.
- **Turn Rate o Tasa de giro:** La tasa de giro determina la tasa de giro de un perfil de pozo en dirección azimutal. Generalmente se expresa en grados por 100 pies o grados por 30 m.



Conceptos fundamentales.

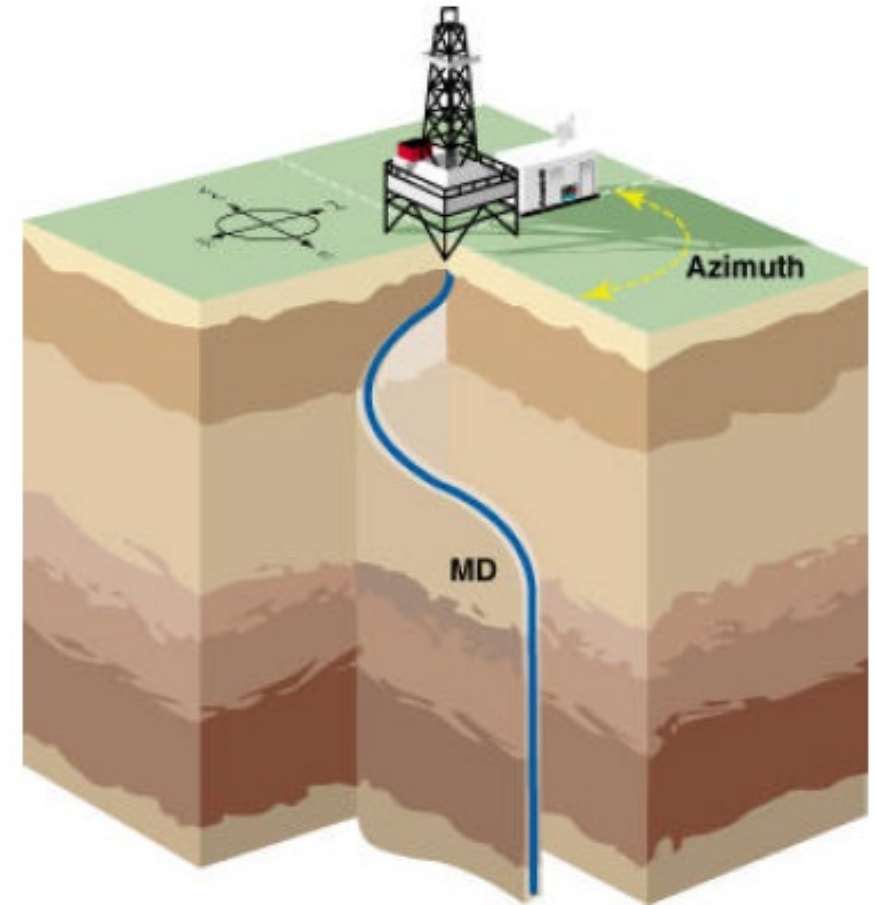
■ True Vertical Depth (TVD):

- La profundidad vertical verdadera (TVD) de cualquier punto o estación a lo largo de un pozo es la distancia vertical desde el punto de referencia de la superficie del pozo hasta la estación de interés.



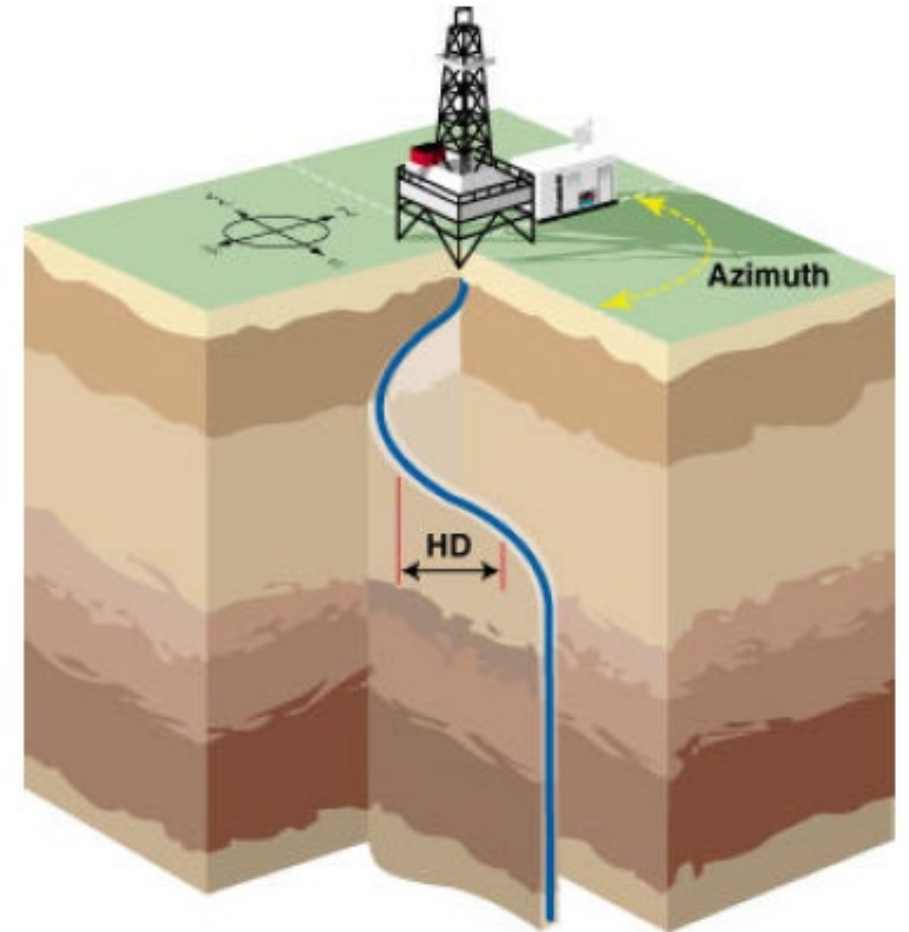
■ Measured Depth (MD)

- La profundidad medida de cualquier punto o estación a lo largo de un pozo es la distancia desde el punto de referencia de la superficie del pozo hasta la estación de interés a lo largo de la trayectoria real del pozo.



■ Horizontal Displacement (HD)

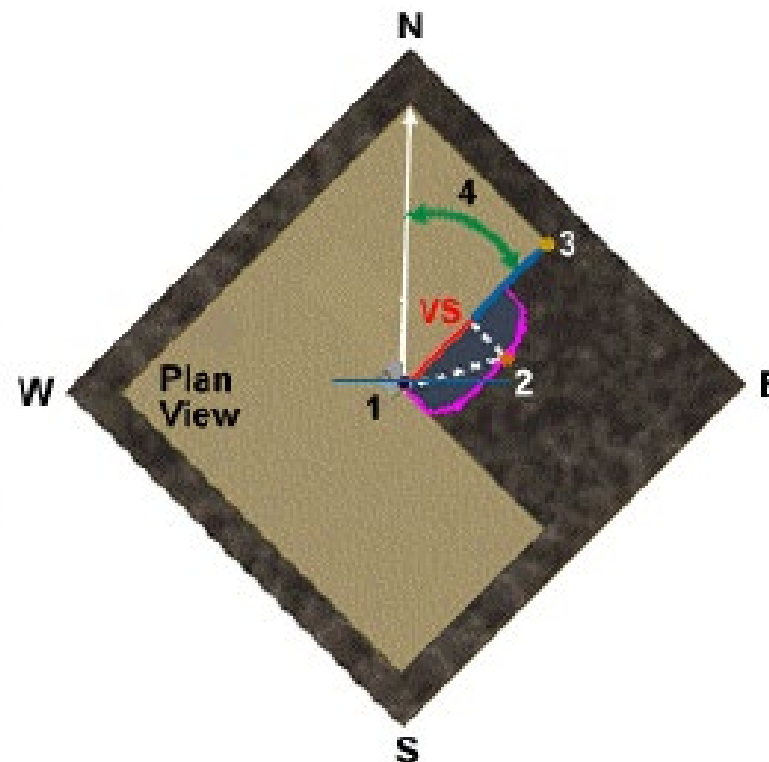
- El desplazamiento horizontal es la distancia entre dos puntos cualesquiera a lo largo de un pozo proyectado en un plano horizontal o vista en planta.



■ Vertical Section (VS)

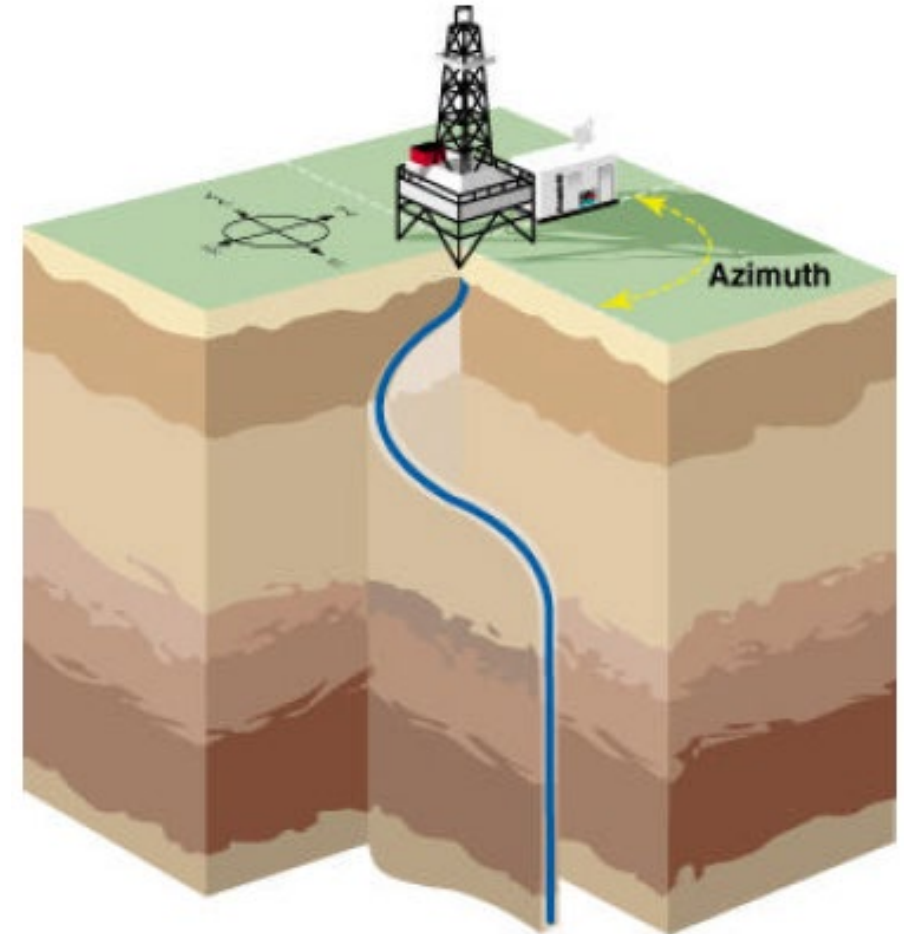
- La sección vertical es la distancia entre dos puntos cualesquiera a lo largo de una proyección del pozo sobre un plano de sección vertical.

- 1 Surface location
- 2 Survey point
- 3 Target location
- 4 Azimuth of VS
- Well path
- Vertical section plane
- VS



■ Azimuth

- El azimut es el ángulo en el plano horizontal medido desde una dirección de referencia fija (como el Norte verdadero), generalmente medido en el sentido de las agujas del reloj.

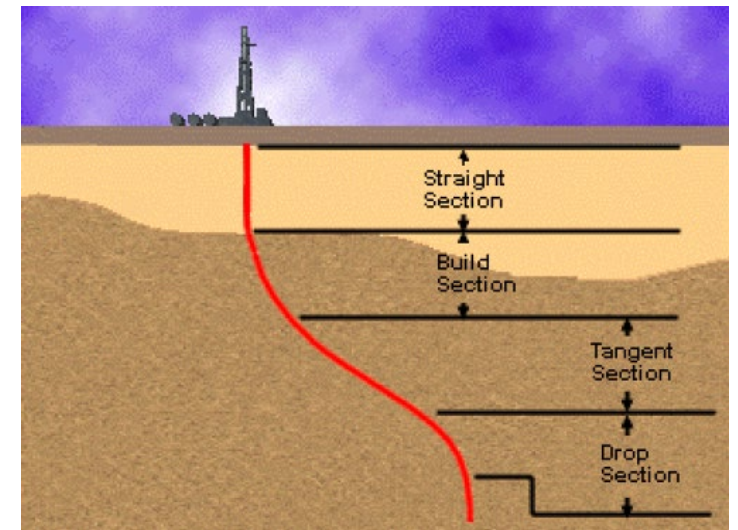
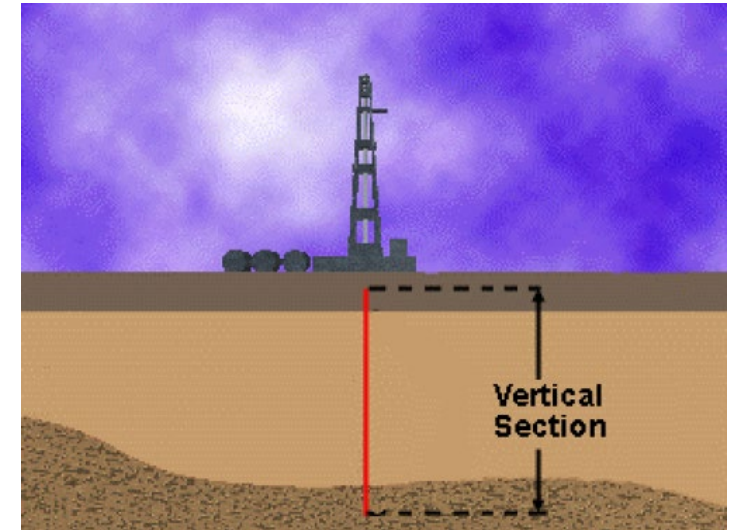


Tipos de perfiles de pozos direccionales

- En general, los pozos direccionales pueden ser:
 - Recto (Vertical),
 - tipo S,
 - Inclinado (tipo J), o
 - Horizontal.

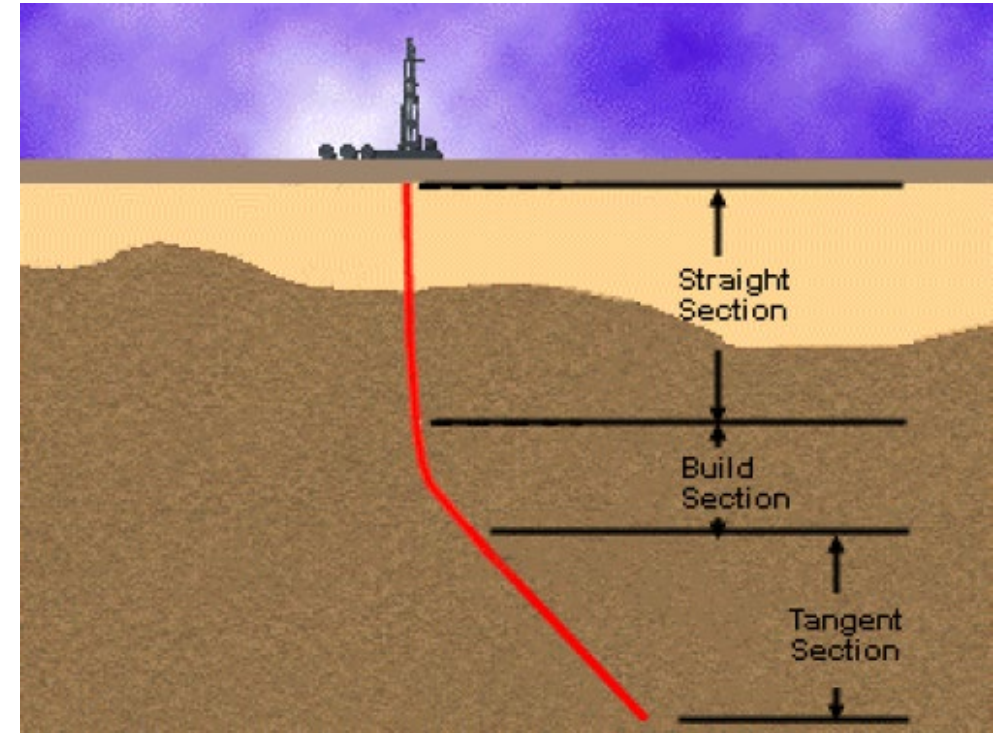
- El tipo de perfil seleccionado dependerá de los objetivos geológicos y del mecanismo de producción del pozo.

- **Straight Well o pozo recto (Vertical):** Los pozos rectos tienen una perforación sin desviación planificada de la vertical.
- **S-Type Well o Pozo tipo S:**
 - Los pozos tipo S tienen una perforación con una sección recta, una sección de construcción, una sección tangente y una sección de caída.
 - Este tipo de pozo se perfora para mejorar la eficiencia del pozo y ayudar en la ubicación de un pozo dañado. En la perforación costa afuera, los pozos tipo S pueden garantizar la precisión en el espaciamiento del fondo del pozo cuando se perforan varios pozos desde la misma plataforma.



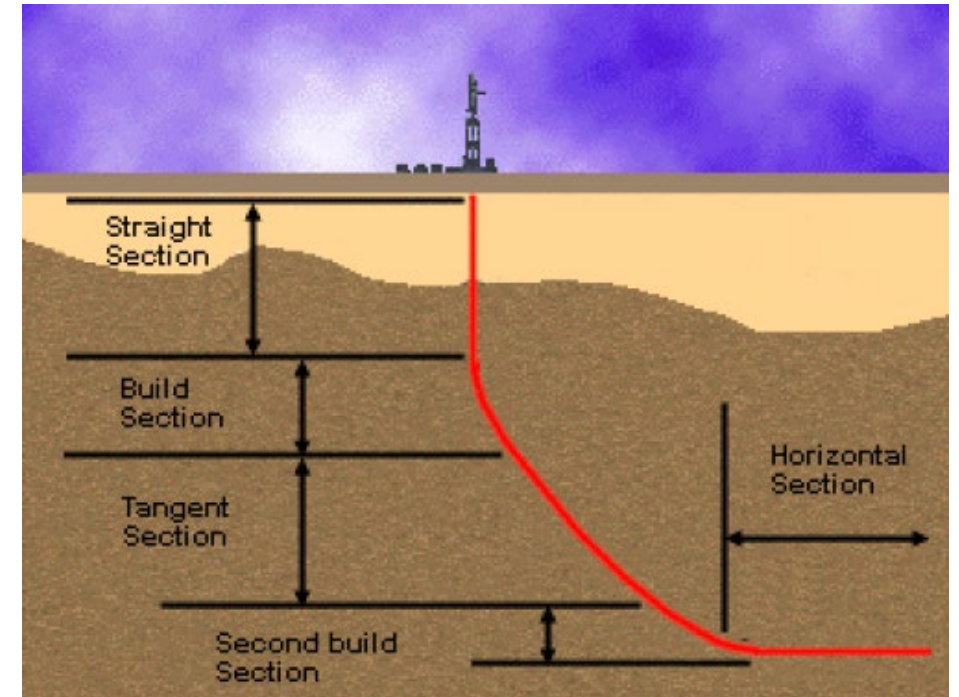
■ Slant Well (J-Type) o Pozo inclinado (tipo J)

- Los pozos inclinados, a veces llamados pozos tipo J, tienen una perforación con una sección recta, una sección de construcción y una sección tangente directa al objetivo.
- Los pozos inclinados o tipo J se perforan donde no es deseable o posible ubicar la ubicación en la superficie directamente sobre el objetivo o una plataforma de pozos múltiples.



■ Horizontal Well o Pozo Horizontal:

- Los pozos horizontales tienen una perforación con una sección recta, una sección de construcción, una sección tangente, una segunda sección de construcción (la mayoría de las veces) y una sección horizontal.
- El pozo se perfora hasta un punto por encima del yacimiento; luego se desvía y el ángulo aumenta hasta alcanzar 90 grados o más.
- Cuando se aplica correctamente, un pozo horizontal puede producir un yacimiento mejor que varios pozos perforados verticalmente.



Planificación de pozos

- La planificación de pozos es un proceso organizado que se utiliza para reunir datos que se utilizarán para diseñar un pozo exitoso. Un plan de pozo es una etapa muy importante antes del comienzo de la operación de perforación para garantizar que todos los aspectos estén diseñados para cumplir con los objetivos específicos de ese pozo. Los planes de perforación de pozos a menudo los desarrolla un planificador de pozos en un Centro de Ingeniería de Perforación (Drilling Engineering Center, DEC).
- Comprender cómo diseñar un plan de pozo (propuesta) es una de las tareas más importantes del perforador direccional. Debe poder comprender el plan y realizar los cambios necesarios.
- El planificador del pozo utiliza los datos proporcionados por el cliente para desarrollar un perfil geométrico para el camino más seguro y sencillo desde la ubicación de la superficie hasta el objetivo. El planificador tiene acceso a un programa informático para ayudarle a desarrollar el mejor perfil posible. Los datos necesarios se introducen en el programa para que se pueda imprimir, trazar y utilizar un perfil de pozo para el proyecto de perforación.

■ Componentes de un plan de pozo

- Hay muchos componentes a tener en cuenta al diseñar un plan de pozo exitoso.

■ Componentes de un plan de pozo:

- Ubicación en superficie
- Ubicación de destino
- Punto de inicio
- Tasa de acumulación
- Tasa de giro
- Ángulo de retención
- Inicio de la caída
- Profundidad vertical verdadera
- Desplazamiento objetivo
- Azimut
- Sección vertical
- Cuadrante
- Coordenada polar
- Coordenada rectangular
- Fin de la caída
- Sección tangente
- Profundidad medida
- Bien Inclinación
- Fin de la acumulación
- Desplazamiento horizontal
- Tasa de abandono

Dudas y preguntas



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGIA
LABORATORIO DE TECNOLOGÍAS MINERAS

TECHNICAL UNIVERSITY OF MADRID
HIGHER TECHNICAL SCHOOL OF MINING AND ENERGY ENGINEERING
MINING TECHNOLOGIES LABORATORY