



INTRODUCCIÓN A LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN

FLUIDO DE PERFORACIÓN

Fluido de perforación o lodo es una mezcla heterogénea de una fase continua que puede ser agua o aceite con otra fase discontinua que son los aditivos químicos que se le agregan, esta última fase puede estar disuelta o dispersa en la fase continua para darle ciertas PROPIEDADES adecuadas al lodo para que pueda cumplir FUNCIONES específicas en la perforación de pozos petroleros.



FLUIDO DE PERFORACIÓN

- El fluido de perforación es una parte clave del proceso de perforación, y el éxito de un programa de perforación depende de su diseño.
- Un fluido de perforación para un área particular se debe diseñar para cumplir con los requerimientos específicos.
- En general los fluidos de perforación tendrán muchas propiedades que son benéficas para la operación, pero también algunas otras que no son deseables. Siempre hay un compromiso.



FUNCIONES PRINCIPALES DEL LODO



El fluido de perforación cumple las siguientes funciones principales:

- Sacar los recortes de formación a la superficie.
- Controlar las presiones de formación.
- No dañar las zonas productoras.
- Estabilizar las paredes del pozo.
- No dañar el medio ambiente.

SACAR LOS RECORTES DE FORMACIÓN A LA SUPERFICIE

Al perforar un pozo se generan recortes de formación en diferentes cantidades y tamaños según la herramienta utilizada al perforar, el lodo debe sacar o remover estos recortes del fondo del pozo hacia la superficie valiéndose de sus propiedades.

La velocidad de flujo en el espacio anular es el parámetro clave para vencer el efecto de la gravedad.

Es frecuente utilizar velocidades entre 100 y 200 pies/min en el espacio anular.

La densidad y la viscosidad también contribuyen a mejorar la capacidad transportadora de un fluido.

Los recortes y los sólidos deben retirarse en la superficie para obtener un fluido limpio que se pueda bombear de nuevo hacia el agujero a través de la sarta.



La arena es muy abrasiva y si no se remueve dañará las bombas de lodo, las líneas, los tubulares y el equipo de subsuelo.

Si no se remueven los recortes se fragmentarán y llenarán el lodo con coloides que deteriorarán sus propiedades reológicas.

CONTROLAR LAS PRESIONES DE FORMACIÓN

Durante la perforación, atravesamos formaciones que tienen distintas Presiones de poros, dicha presión empuja los fluidos de la formación para que estos ingresen al pozo, para ello el lodo contrarresta esta acción ejerciendo una presión hidrostática mayor a la de formación.

La presión hidrostática (PH) es la presión total en un punto dado del pozo, ejercida por una columna de fluido estacionaria.

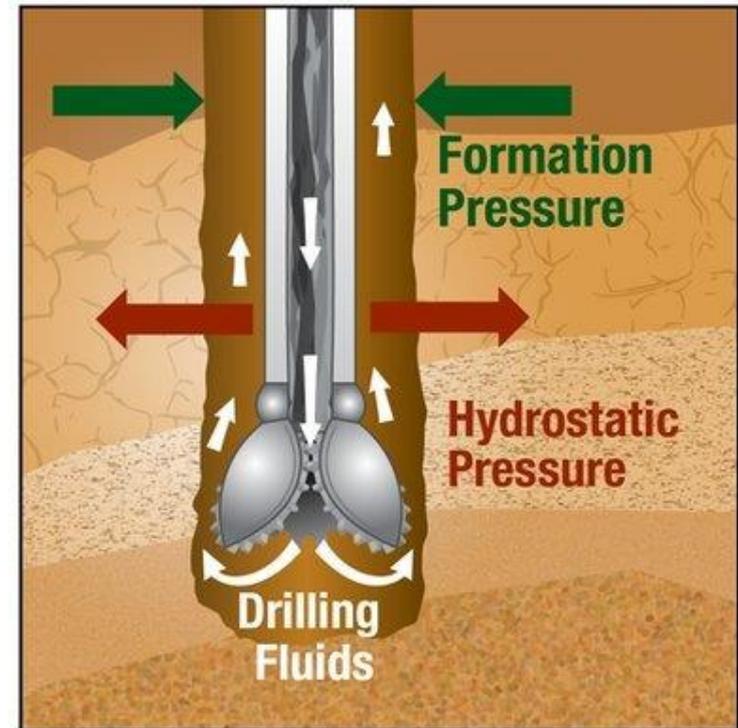
$$PH = 0,052 * \rho * h$$

Donde:

PH = Presión Hidrostática (psi)

ρ = Densidad del fluido (lpg, ppg)

h = Altura del fluido (ft)



$$PH > PF$$

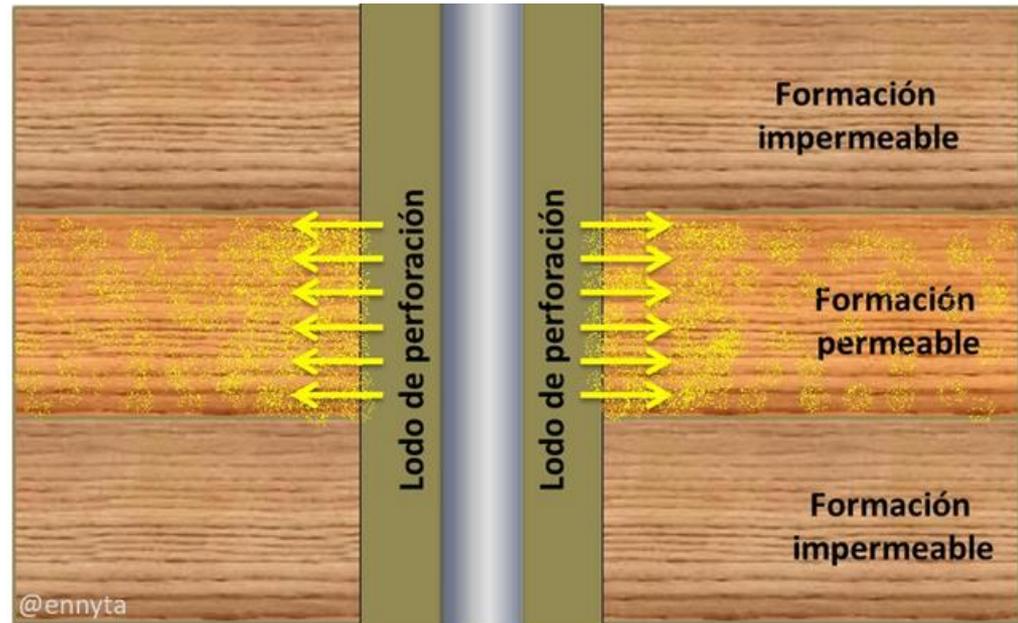
NO DAÑAR LAS ZONAS PRODUCTORAS

El daño por invasión es la reducción de la porosidad o permeabilidad natural de la formación que ocasiona una caída de presión brusca cerca del pozo al producir, esto debido a los siguientes factores:

- Lodos o sólidos de perforación.
- Interacción química.
- Interacción mecánica.

El fluido utilizado para perforar la zona de producción tendrá un impacto importante en la productividad del pozo, por tanto para evitar el daño a la formación productora debe:

- Impedir bloqueo de las gargantas del poro.
- Impedir el bloque de emulsión entre el fluido de la formación y el lodo.



- No cambiar la humectación natural de la formación.
- Impedir la hidratación y el hinchamiento de las arcillas en las zonas productivas.
- Minimizar danos superficiales.

ESTABILIZAR LAS PAREDES DEL POZO

La estabilidad del pozo es un equilibrio complejo de factores:

- **Mecánicos** (presión, esfuerzos, fuerzas mecánicas)
- **Químicos** (Reacciones con arcillas).

La composición química y propiedades del lodo deben combinarse eficazmente.

El peso del lodo es una buena propiedad para controlar la inestabilidad (Equilibra fuerza mecánicas que actúan sobre el pozo).

Los derrumbes de formación causan puentes, rellenos, etc; pero los mismos efectos pueden tener causas distintas.



Para mantener la estabilidad del pozo el lodo debe:

- Evitar dispersión de las arcillas.
- Evitar disolver formaciones salinas.
- Controlar pérdidas de filtrado.
- Inhibir lutitas y arcillas reactivas

NO DAÑAR EL MEDIO AMBIENTE

El lodo debe estar diseñado y preparado con componentes químicos biodegradables, que al descomponerse no dañen el medio ambiente.

El Fluido debe ser eliminado de conformidad con los reglamentos ambientales locales.

Los fluidos más deseables son los que tienen bajo impacto ambiental.

El fluido debe ser No tóxico, No persistente y cumplir con las normas locales de degradación.



FUNCIONES SECUNDARIAS DEL LODO



- SACAR INFORMACION DESDE EL FONDO DEL POZO.
- FORMAR UNA PELICULA IMPERMEABLE SOBRE LAS PAREDES DEL POZO.
- LUBRICAR Y ENFRÍAR LA SARTA DE PERFORACIÓN.
- AYUDAR A SOPORTAR EL PESO DE LA SARTA DE PERFORACIÓN.
- MANTENER EN SUSPENSIÓN LOS SÓLIDOS.
- NO CAUSAR CORROSIÓN A LA HERRAMIENTA.
- TRANSMITIR ENERGÍA AL FONDO DEL POZO.

SACAR INFORMACION DESDE EL FONDO DEL POZO

Un lodo que esta perforando en un pozo, continuamente trae información del fondo, el ingeniero de lodos deberá estar capacitado para poder interpretar esta información y poder interpretar las condiciones en las que está el lodo en el fondo del pozo.

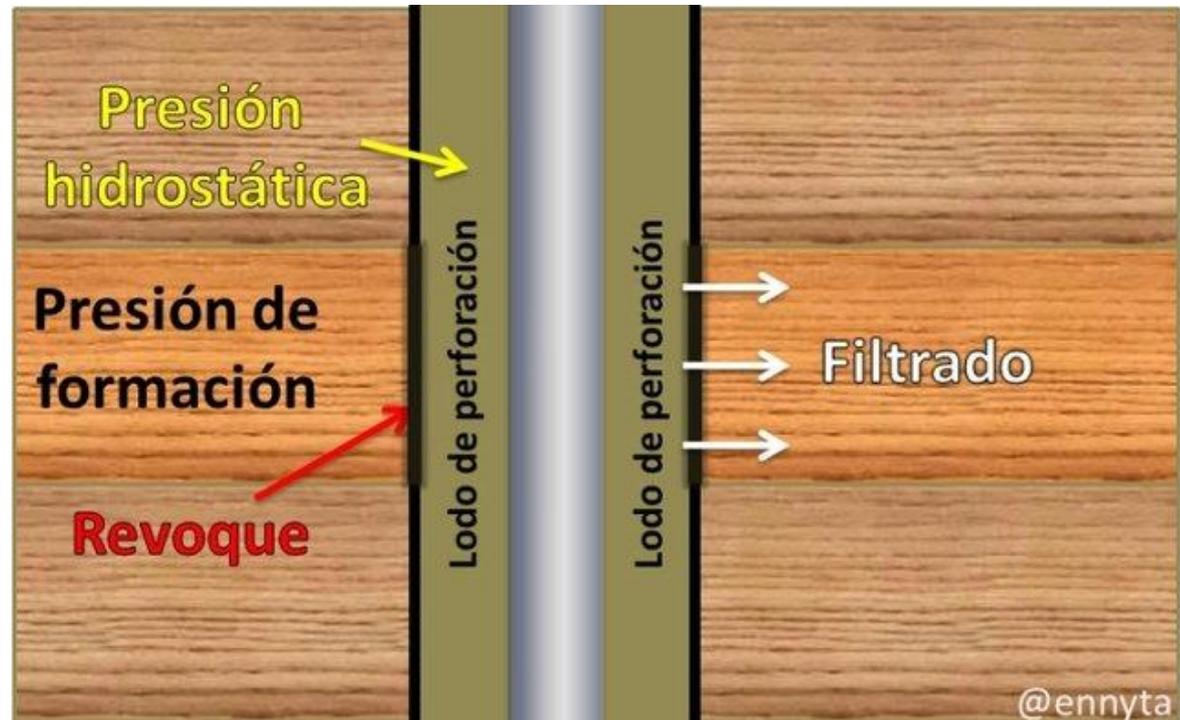
MUD LOGGING es una actividad realizada durante la perforación de un pozo que consiste en el registro, almacenamiento e interpretación de los datos, tanto geológicos como ingenieriles del pozo, mediante el examen de los recortes traídos a la superficie por medio del fluido de perforación y de los parámetros del pozo.



FORMAR UNA PELICULA IMPERMEABLE SOBRE LAS PAREDES DEL POZO

Ya que la $PH > PF$ la parte del líquida del lodo llamada filtrada llega a penetrar los horizontes de la formación haciendo uso de la permeabilidad quedando sobre la pared de formación una costra de sólidos conocido con el nombre de película o revoque.

Un buen fluido de perforación debe depositar un revoque delgado y de baja permeabilidad en la pared del agujero frente a las formaciones permeables para consolidarlas y para retardar el paso del fluido desde el agujero del pozo hacia la formación permeable.



LUBRICAR Y ENFRÍAR LA SARTA DE PERFORACIÓN

Las fuerzas mecánicas e hidráulicas generan una gran cantidad de calor por fricción.

El lodo también lubrica la sarta, reduciendo el calor generado por fricción.

Los efectos refrigerantes y lubricantes del lodo evitan que: trépano, motores, componentes de la sarta fallen.

Una mejor lubricación del trépano ofrece beneficios como:

- Disminuye la fricción.
- Mayor vida del trépano.
- Disminuye arrastre de los viajes.
- Menor presión de bombeo.
- Mejora la rata de penetración (ROP).
- Mejora desgaste de la sarta de perforación.



Indicios de lubricación deficiente:

- Altos valores de torque y arrastre
- Desgaste anormal y agrietamiento por calor de sarta y BHA.

AYUDAR A SOPORTAR EL PESO DE LA SARTA DE PERFORACIÓN

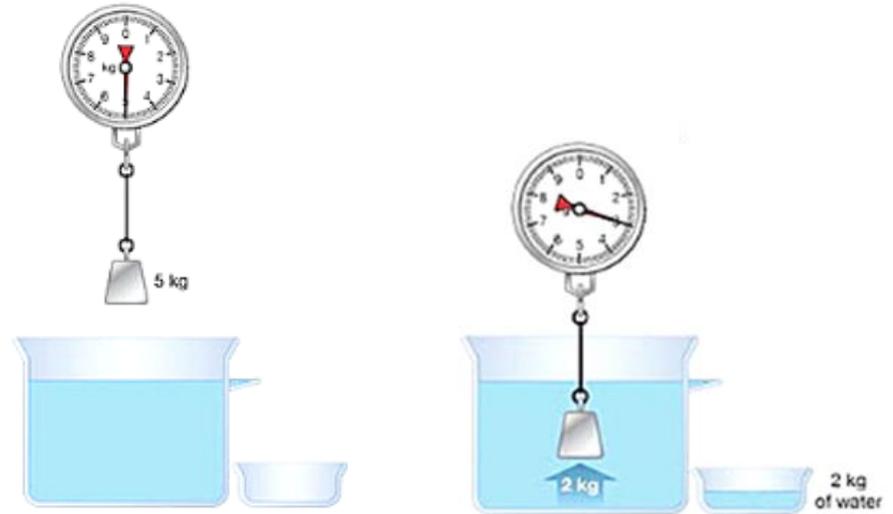
El principio de Arquímedes afirma que todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje vertical y hacia arriba igual al peso de fluido desalojado.

Considerando el principio de Arquímedes, cuando la sarta se encuentra en el pozo, está sumergida en el fluido de perforación, por tanto, se genera una fuerza de flotación, la misma reduce la carga en el gancho en el taladro.

En pozos profundos es muy importante la flotabilidad.

La flotabilidad ayuda a introducir tuberías que exceden la capacidad de carga del gancho.

Archimedes' principle



Factor de Flotabilidad

$$ff = 1 - \frac{\rho_L}{\rho_{acero}}$$

ρ_L = Densidad del lodo (ppg)
 ρ_{acero} = Densidad del acero
 (65,5 ppg)

$$W_{hta\ flotada} = W_{hta\ aire} * ff$$

MANTENER EN SUSPENSIÓN LOS SÓLIDOS

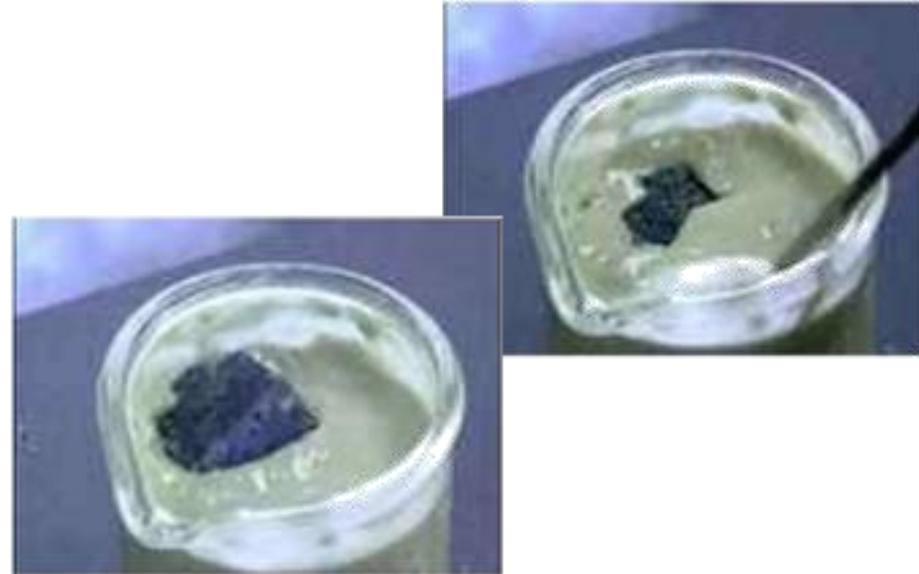
Mediante la suspensión de los recortes, el lodo logra lo siguiente:

- Impedir el relleno después de los viajes y conexiones
- Impedir el empaquetamiento cuando no hay circulación
- Mejorar la eficiencia del control de sólidos

Si el lodo no tiene la suficiente capacidad de suspensión las partículas caerán al fondo y entorpecerán labores, como el cambio de trépano, o Labores de pesca.

TIXOTROPÍA: Capacidad que tienen los fluidos de generar energía en estado de reposo.

Las propiedades tixotrópicas del lodo deben permitir esta suspensión cuando se interrumpe la circulación, y cuando se reinicia la circulación para su depósito en superficie y remoción por el equipo de control de sólidos.



La velocidad de asentamiento de los recortes dependerá de:

- Densidad del lodo.
- Densidad de las partículas.
- Tamaño de las partículas.
- Viscosidad del lodo.
- Resistencia de gel del lodo.

NO CAUSAR CORROSIÓN A LA HERRAMIENTA

Durante la perforación del pozo, nos podemos topar con diferentes agentes corrosivos, tales como el Oxígeno, CO_2 y H_2S .

La sarta y equipos de perforación son propensos a varias formas de corrosión.

Para mitigar estos efectos se debe usar inhibidores químicos de corrosión y secuestradores cuando el riesgo de corrosión es importante.

El objetivo es mantener la corrosión a un nivel aceptable, para ello se debe aumentar el PH, sin embargo, el lodo no debe dañar componentes de caucho y elastómeros especiales.

El Sulfuro de hidrógeno colapsa la sarta y es mortal. Se controla manteniendo un alto PH y químicos secuestradores de sulfuro.



TRANSMITIR ENERGÍA AL FONDO DEL POZO

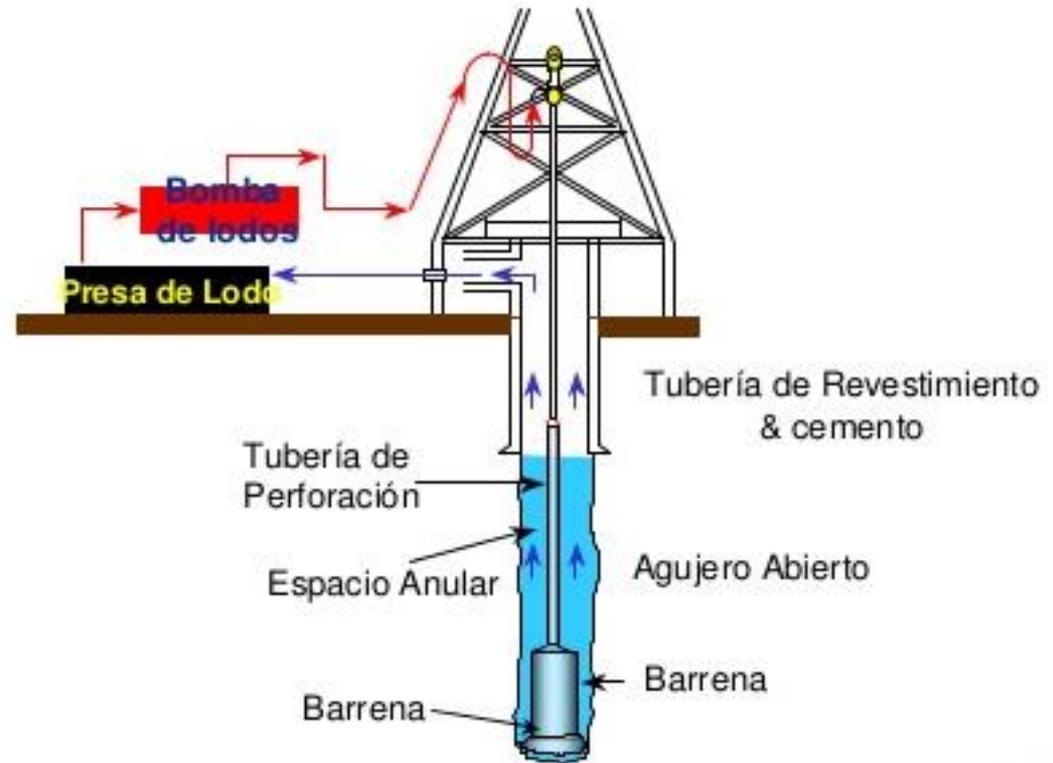
El lodo debe proporcionar suficiente energía para las herramientas de fondo y el trépano.

Debe limpiar por debajo del trépano antes de triturar de nuevo los recortes.

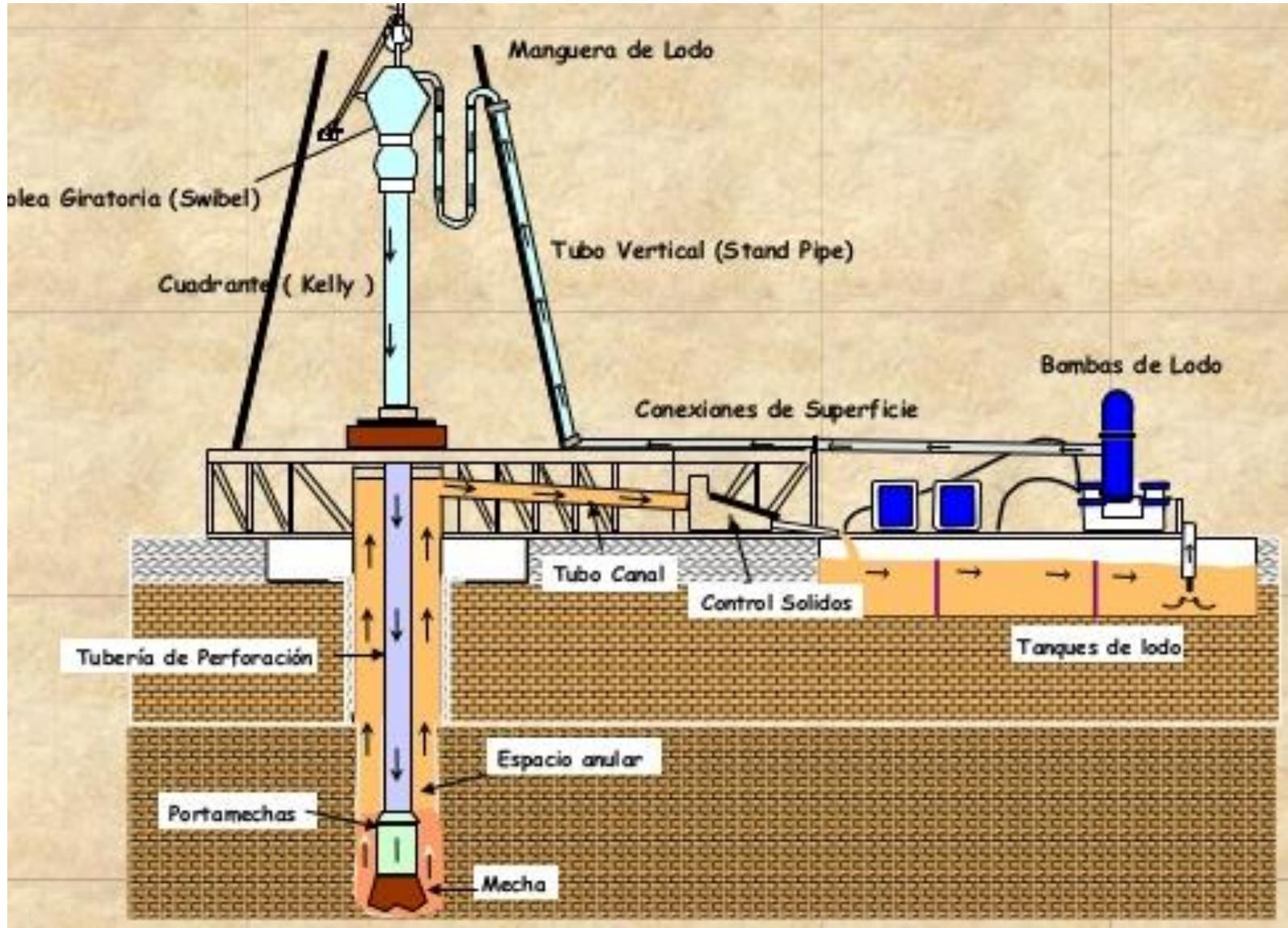
El lodo debe ayudar a optimizar el trépano:

- Fuerza de impacto
- Potencia hidráulica.

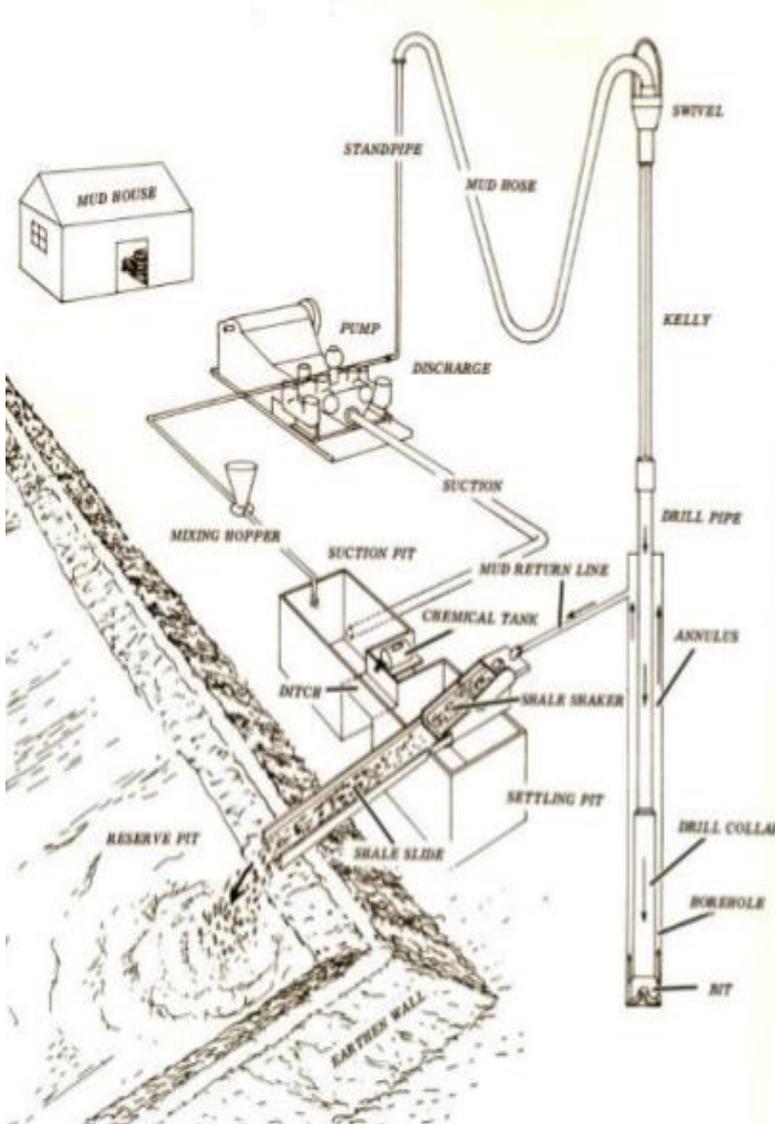
Se debe optimizar la hidráulica de perforación para maximizar la ROP. (Mejora la remoción de recortes por debajo del trépano).



CIRCUITO DEL LODO



CÁLCULO DE VOLÚMENES



$$V_{sist} = V_{cajones} + V_{con sup} + V_{pozo}$$

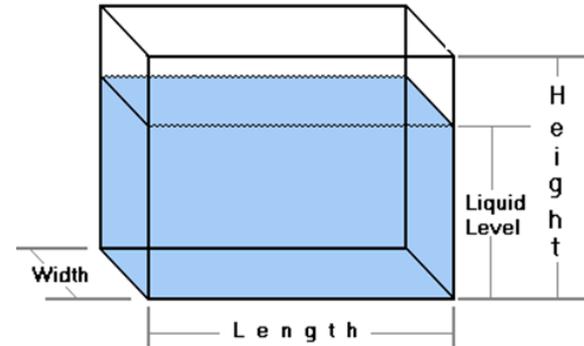
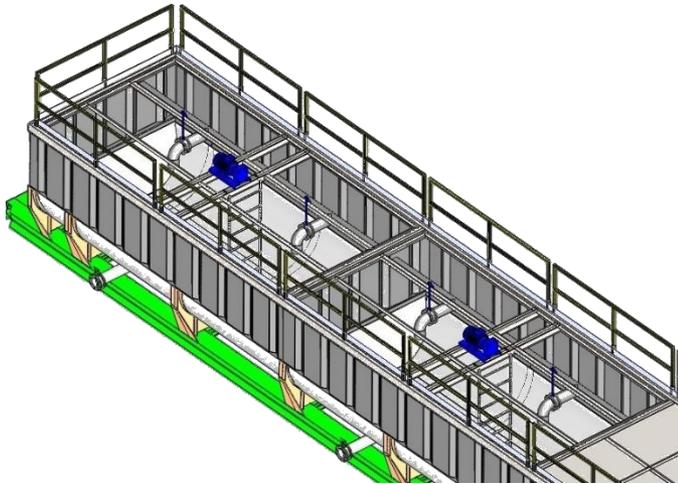
V_{sist} = Volumen total del sistema de circulación.

$V_{cajones}$ = Volumen de lodo en los cajones o tanques.

$V_{con sup}$ = Volumen de lodo en las conexiones superficiales.

V_{pozo} = Volumen de lodo en el pozo.

VOLUMEN DE LODO EN CAJONES

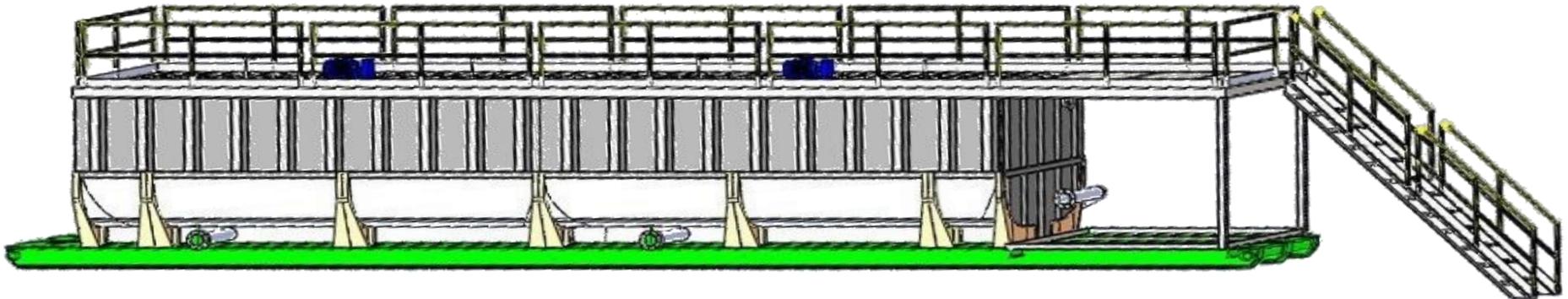


$$V_{caj} = a * L * h_L$$

a = ancho (ft)

L = Largo (ft)

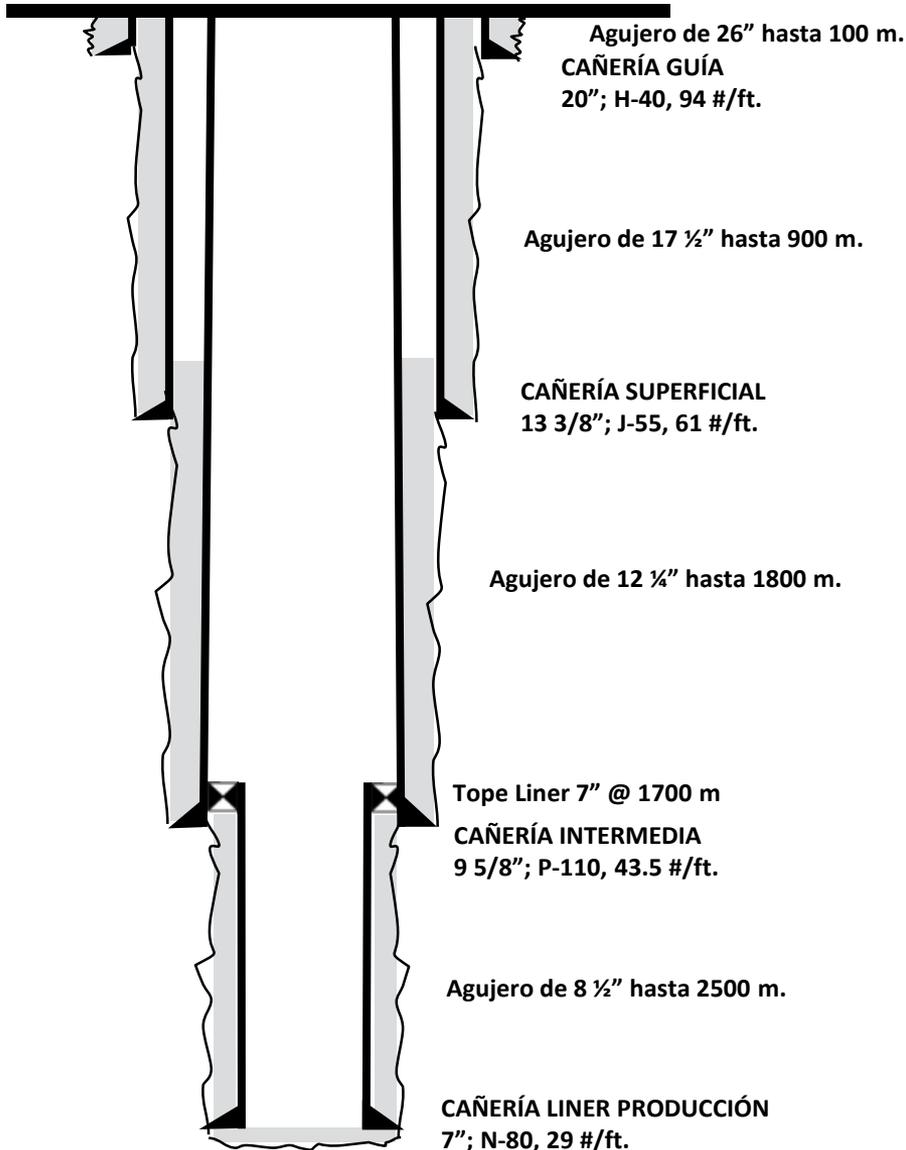
h_L = altura de lodo (ft)



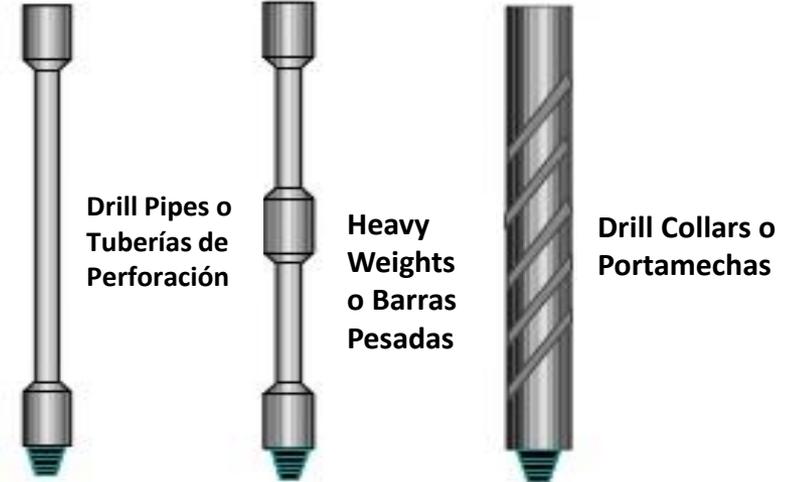
CÁLCULO DE VOLÚMENES



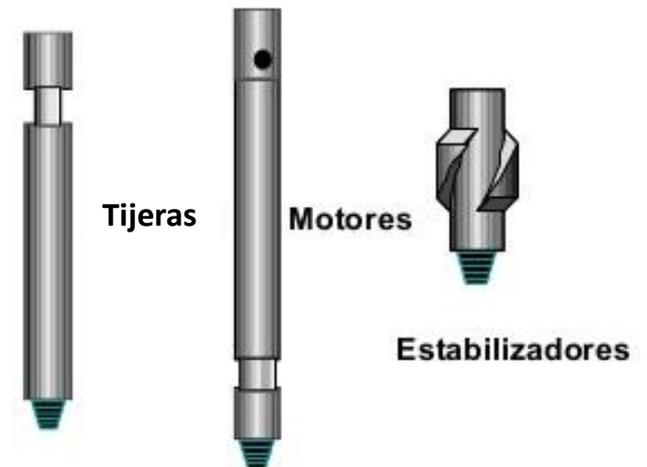
Perforación



SARTA DE PERFORACIÓN

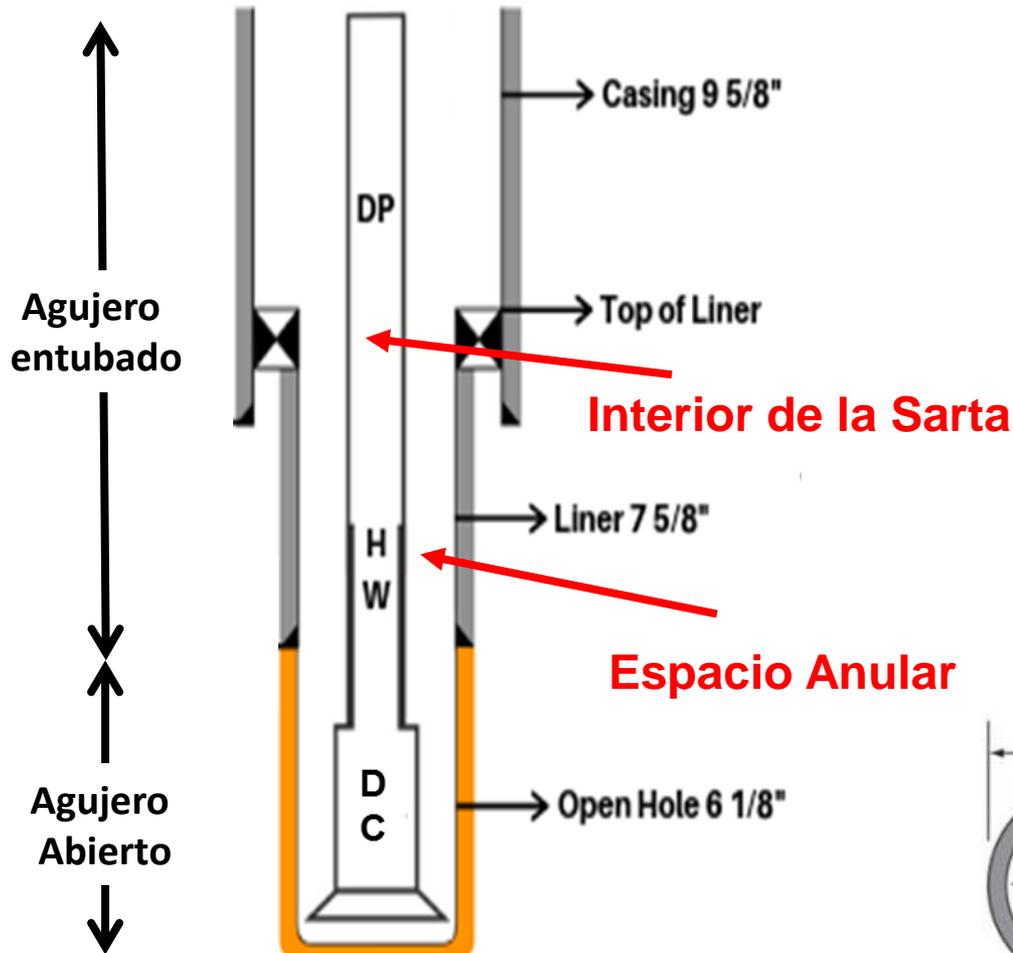


Tubulares



Otros Equipos de Subsuelo

VOLUMEN DE LODO EN EL POZO



$$V_{pozo} = V_{int} + V_{EA}$$

V_{int} = Volumen en el Interior de la Sarta

V_{EA} = Volumen en el Espacio Anular

NOMENCLATURA

OD = Diámetro Externo de la herramienta

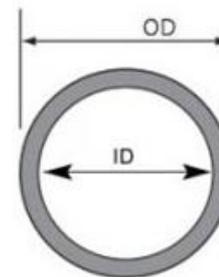
ID = Diámetro Interno de la herramienta

D_H = Diámetro del agujero

- Agujero Abierto OH $\rightarrow \phi_{bit}$

- Agujero Entubado CH $\rightarrow ID_{cañ}$

h = Altura de Sección (m, ft)

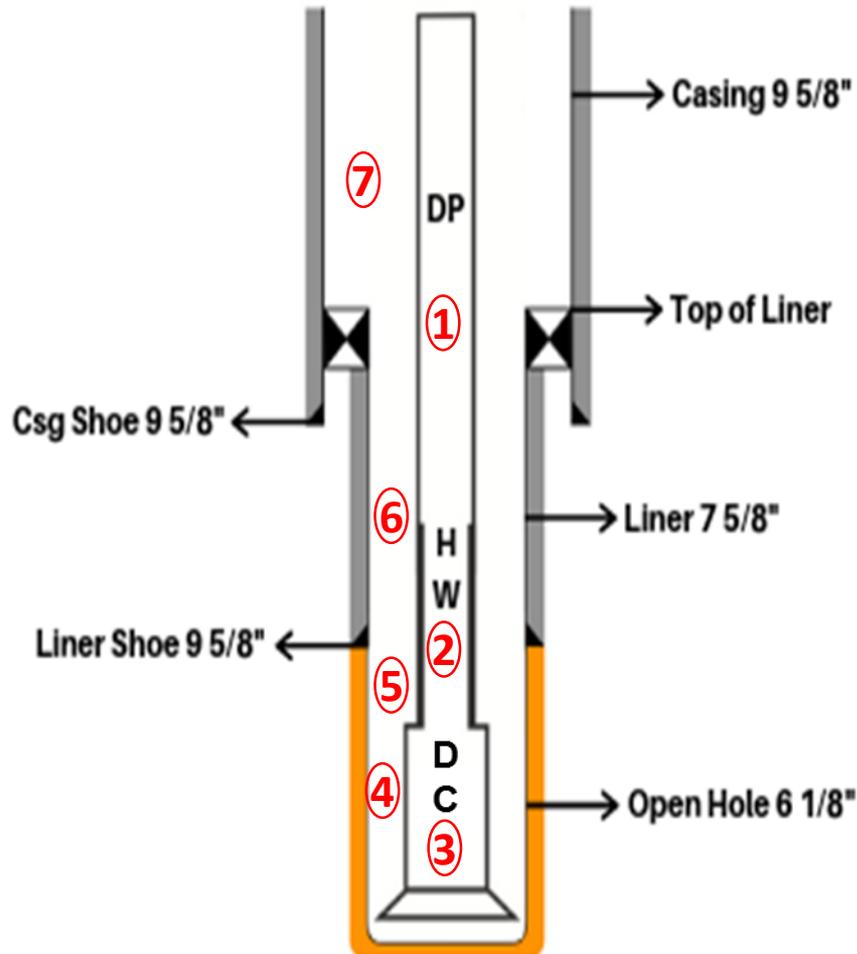


OD - outside diameter

ID - inside diameter



VOLUMEN DE LODO EN EL POZO



INTERIOR DE LA SARTA

Capacidad

$$Cap_{int} = \frac{ID^2}{314} = [\text{bbl/m}]$$

$$Cap_{int} = \frac{ID^2}{1029,4} = [\text{bbl/ft}]$$

Volumen

$$V_{int} = Cap_{int} * h = [\text{bbl}]$$

ESPACIO ANULAR

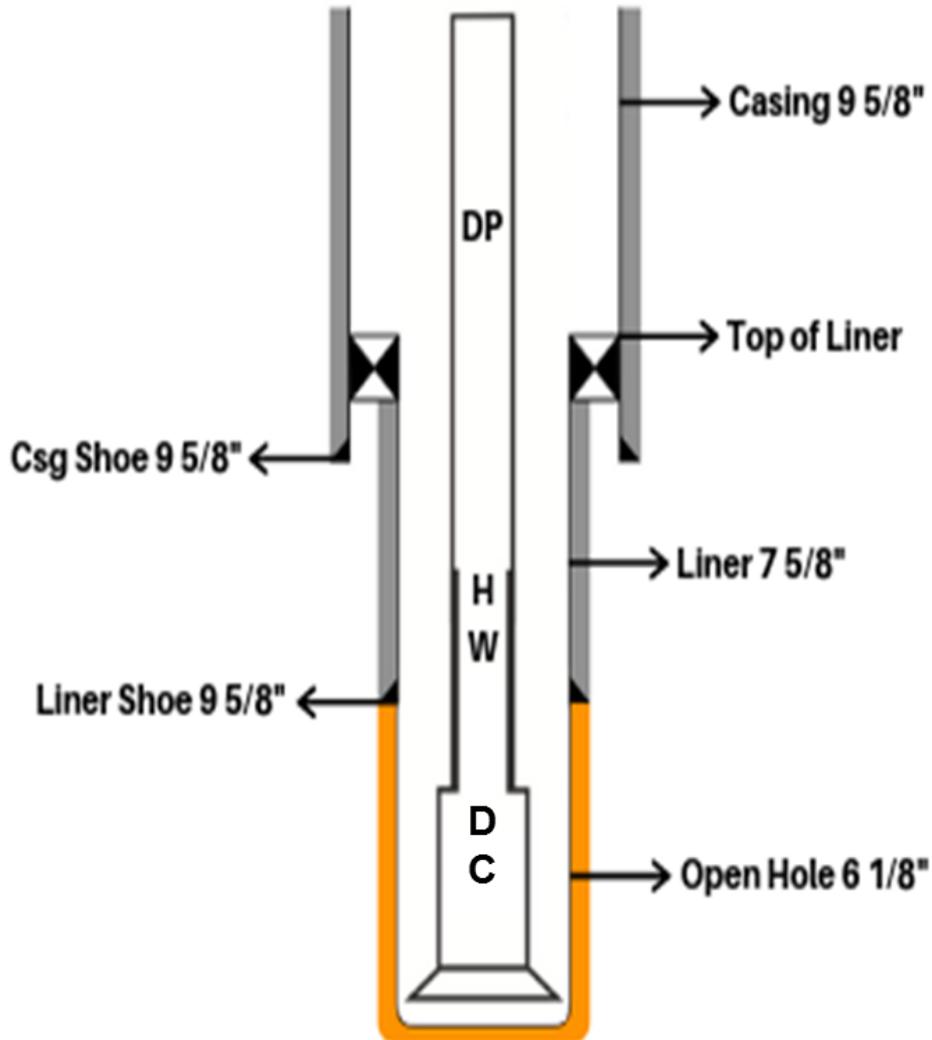
Capacidad

$$Cap_{EA} = \frac{D_H^2 - OD^2}{314} = [\text{bbl/m}]$$

$$Cap_{EA} = \frac{D_H^2 - OD^2}{1029,4} = [\text{bbl/ft}]$$

Volumen

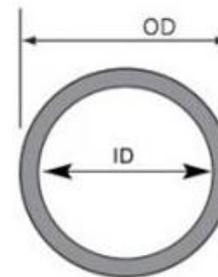
$$V_{EA} = Cap_{EA} * h = [\text{bbl}]$$



VOLUMEN DE DESPLAZAMIENTO DE LA HERRAMIENTA

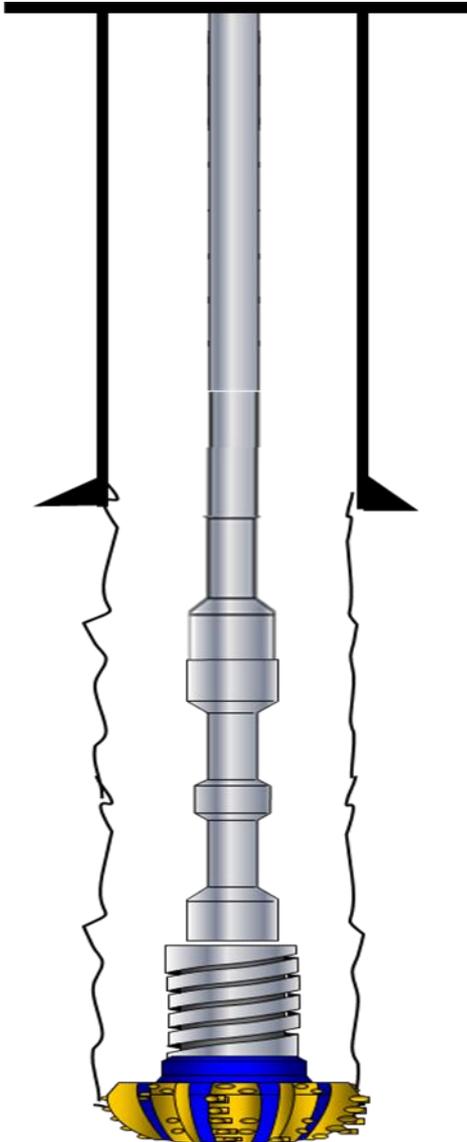
$$V_{Desp} = \frac{OD^2 - ID^2}{314} * h(m) = [bbl]$$

$$V_{Desp} = \frac{OD^2 - ID^2}{1029,4} * h(ft) = [bbl]$$



OD - outside diameter
ID - inside diameter





EJERCICIO DE APLICACIÓN

Se está perforando un pozo a la profundidad de 4000 m con trépano de 8 ½" + 90 m de DC's de 6 ½" x 2 ¾" + 135 m de HW's de 5" x 3" + DP's de 4 ½" x 3.826".

Última cañería de revestimiento Casing 9 5/8" x 8.755", asentada en 2500 m.

A la profundidad actual del pozo, se tiene un volumen de lodo en conexiones superficiales de 5 bbl y tres cajones activos de 30 ft de largo, 10 ft de ancho y 12 ft de alto, el nivel de lodo en cajones es de 10 ft.

Determinar:

- Volumen total de lodo en superficie
- Capacidades y volúmenes en el interior de la herramienta.
- Capacidades y volúmenes en el Espacio anular.
- Volumen de lodo en el pozo.
- Volumen total del sistema de circulación.
- Volumen de desplazamiento de la herramienta.
- Volumen de lodo en el pozo si se saca la herramienta.
- Volumen de lodo que queda en los cajones cuando se saca la herramienta.

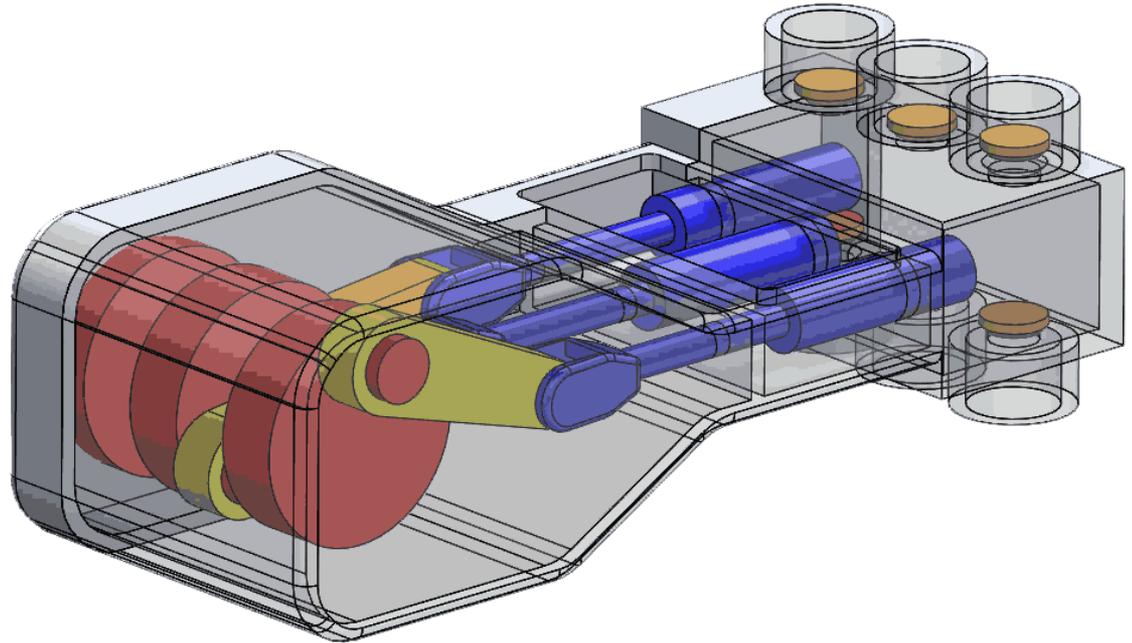
BOMBAS



Perforación

Las bombas de lodo son los componentes principales del sistema de circulación, las cuales funcionan con motores de combustión interna o motores eléctricos conectados directamente a las bombas o con energía transmitida por la central de distribución, las bombas deben ser capaces de mover grandes volúmenes de fluido a presiones altas, también se encargan de darle la presión y el caudal necesario que se requiere para el control de un posible influjo dentro del pozo.

Estas bombas de lodo siempre han usado pistones reciprocantes de desplazamiento positivo.



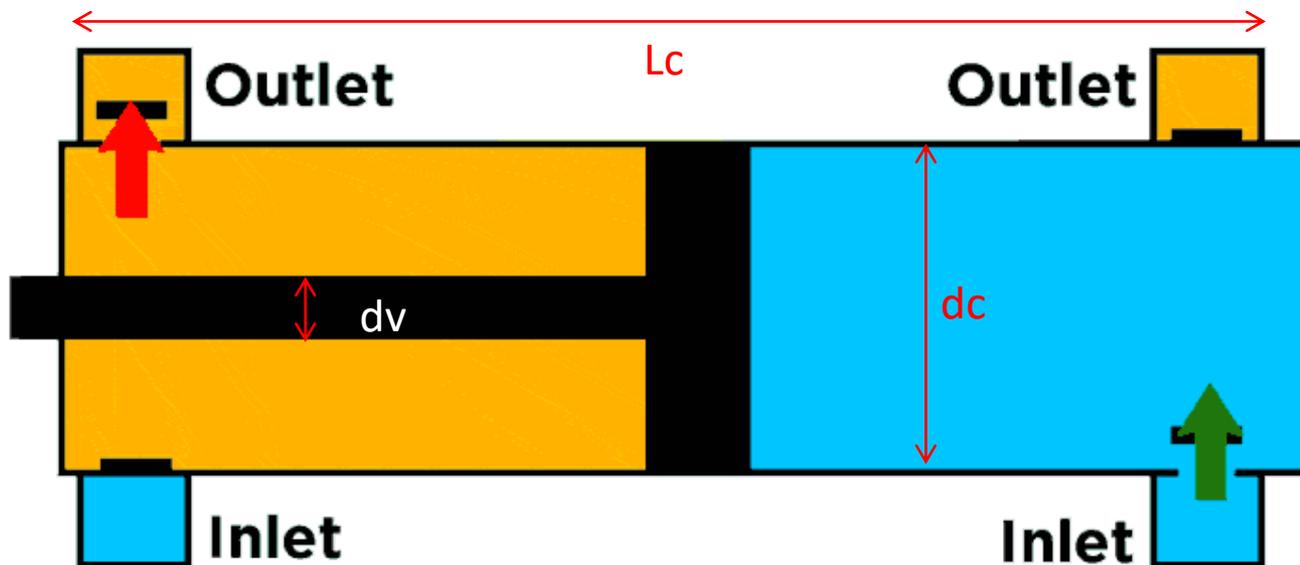
Por definición, una bomba para lodos es una versión más pesada y resistente de una bomba centrífuga, con capacidad para transportar materiales duros y abrasivos. “La denominación de ‘bombas para lodos’ debe considerarse como un concepto genérico, para distinguirlas de otras bombas centrífugas diseñadas principalmente para líquidos limpios”.

TIPOS DE BOMBAS

Los equipos de perforación utilizan uno de dos tipos de bombas de lodo, bombas Dúplex o bombas Triplex.

BOMBAS DUPLEX

Esta bombas tienen dos cilindros (dúplex), generalmente son bombas doble actuantes, ósea bombean en ambas direcciones en la carrera de ida y en la carrera de regreso del pistón. Comúnmente se las denomina Bombas Dúplex Doble Acción.

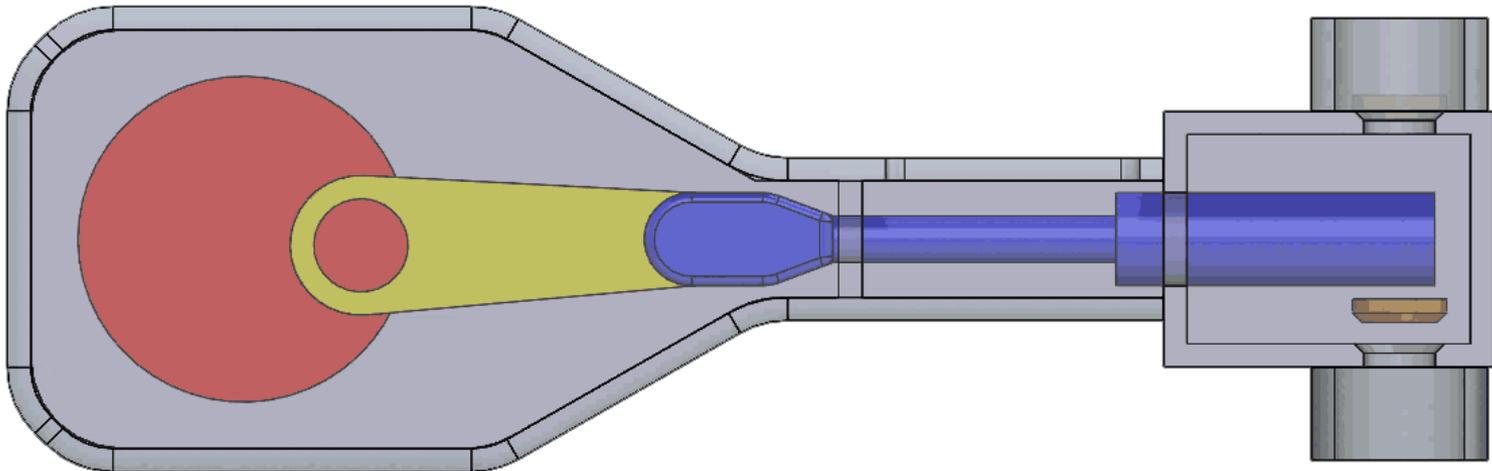


TIPOS DE BOMBAS

BOMBAS TRIPLEX

Estas bombas tienen tres cilindros (triplex) y son generalmente únicamente actuantes, es decir que bombean solamente en la carrera de ida del pistón.

Las bombas triplex son más ligeras y compactas que las bombas dúplex, sus pulsaciones de presión de descarga no son tan grandes, y son más baratas para operar. Por estas razones la mayoría de las nuevas bombas que han sido puestas en operación son de diseño triplex. La eficiencia de una bomba de circulación de lodo es el producto de eficiencia mecánica y la eficiencia volumétrica.



CÁLCULOS EN BOMBAS

DESPLAZAMIENTO DE LA BOMBA

Bombas Triplex Simple Acción

$$Desp_B = 0,010206 * d_c^2 * L_c * ef$$

Bombas Dúplex Doble Acción

$$Desp_B = 0,0067 * (2d_c^2 - d_v^2) * L_c * ef$$

Donde:

$Desp_B$ = Desplazamiento de la Bomba (gal/emb), (GPE)

d_c = Diámetro de camisa o émbolo (pulg)

d_v = Diámetro del vástago o pistón (pulg)

L_c = Longitud de camisa o carrera (pulg)

ef = Eficiencia de la bomba.

CÁLCULOS EN BOMBAS

CAUDAL DE BOMBEO

$$Q_B = Desp_B * v_B$$

TIEMPO DE BOMBEO

$$t = \frac{Vol}{Q_B}$$

POTENCIA DE LA BOMBA

$$HHP_B = \frac{Q_B * P_B}{1714}$$

NÚMERO DE EMBOLADAS

$$\#_{EMB} = \frac{Vol}{Desp_B}$$

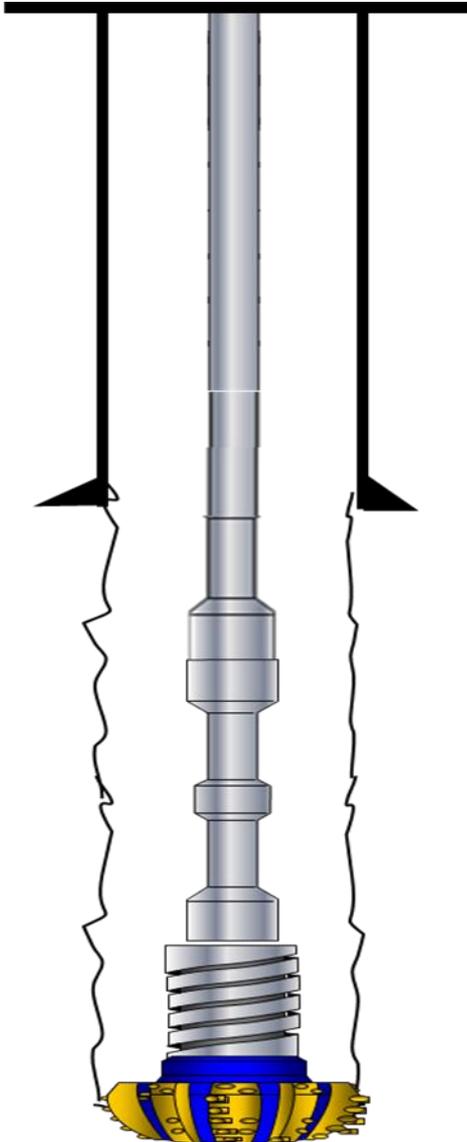
Donde:

Q_B = Caudal de bombeo (gal/min), (GPM)

v_B = Velocidad de la bomba (emb/min), (EPM)

HHP_B = Potencia de la bomba (hp)

Vol = Volumen a bombear (bbl, gal)



EJERCICIO DE APLICACIÓN

Se está perforando un pozo a la profundidad de 3500 m con trépano de 8 ½" + 100 m de DC's de 6 ½" x 2 ¼" + 150 m de HW's de 5" x 3" + DP's de 5" x 4.276". Ensanchamiento del pozo del 10%. Última cañería de revestimiento Casing 9 5/8" x 8.755", asentada en 2600 m.

En todo el sistema de superficie se tienen 1800 bbl. Se cuenta con tres bombas Triplex Simple Acción de 12"x 6"x 2 ¼", eficiencia del 90%, Velocidad de la bomba 90 EPM y Presión de bomba 4000 psi, de las cuales dos trabajan y una se encuentra en stand by.

Determinar:

- Volumen de lodo en el interior de la herramienta.
- Volumen de lodo en el Espacio Anular.
- Volumen total del sistema de circulación.
- Desplazamiento de la bomba.
- Caudal de bombeo.
- La potencia de la bomba.
- Tiempo interno, Tiempo de retorno y Tiempo total del sistema.
- Número de emboladas para bombear el lodo de superficie a fondo y de fondo a superficie.

FLASH RECORDATORIO



Perforación

- *Se debe entender los conceptos teóricos básicos de ingeniería de lodos, de manera que permitan identificar problemas y encontrar soluciones durante la perforación del pozo.*
- *El fluido de perforación es una parte clave del proceso de perforación, y el éxito de un programa de perforación depende de su diseño.*
- *Debido a que, en esencia, la perforación de un pozo depende de los fluidos de perforación, el que se pueda cumplir con las funciones del lodo será de total responsabilidad del Ingeniero de Fluidos durante las actividades de perforación de un pozo de petróleo.*
- *Es importante conocer y realizar un control estricto del volumen de fluido en el sistema, así se podrán detectar a tiempo las pérdidas o ganancias en el pozo.*

