

***Equipos y Herramientas de Perforación de
Pozos
Equipos de Perforación: Sistema de Circulación***

***Ing. Juan Carlos Sabido Alcántara
Ingeniero Petrolero
Facultad de Ingeniería UNAM***



Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- El sistema de circulación es la clave para una perforación exitosa y segura, equivocarse en la selección del fluido y el mal control de sus propiedades reológicas puede condenar la operación de perforación, y peor aún, exponer la integridad del personal y el equipo de perforación.

Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

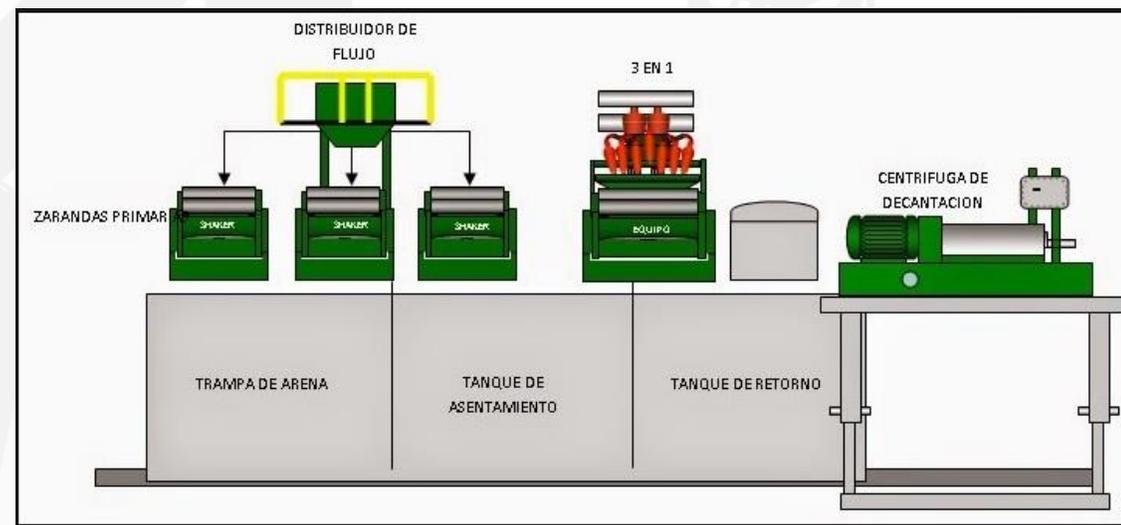
- A lo largo del curso hemos hablado de un fluido o lodo de perforación que nos sirve como medio de limpieza para transportar los recortes (restos de roca triturada por la barrena) a la superficie, que sirve para controlar el pozo, y en algún momento también mencionamos que ayuda a estabilizar las paredes del pozo y evitar que este se derrumbe.

Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- Igual que en los sistemas anteriores, dependiendo de los autores, el sistema de circulación únicamente son los componentes mecánicos y con otros autores también se incluye a los fluidos de perforación. Para efectos del curso incluiremos los fluidos en este sistema. Para comenzar abordaremos lo elementos mecánicos.

Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Presas:** Se trata de grandes cajas metálicas en las que se almacena el fluido, sus dimensiones varían dependiendo del modelo del equipo y la capacidad del mismo. Se tienen presa de succión, asentamiento y de descarga, dentro de las mismas se pueden tener cajas de menos volumen conocidas como bacheras.



Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Línea de succión:** Es la línea por la que las bombas succionan el fluido de la presa de succión.



Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Bombas de lodo:** Las bombas son aquellas que se encargan de bombear el fluido con la suficiente presión para desplazarlo de manera continua por todo el circuito de circulación que va de las presas de lodo hasta la barrena en el fondo (sin importar la profundidad) y que regrese a la superficie hasta las mismas presas.

Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Bombas de lodo:** Existen bombas de lodo *duplex*, *triplex* y ya de última generación *quintuplex*, todas de *simple* o *doble efecto*.
- Los términos *duplex*, *triplex* y *quintuplex* se refieren al número de pistones que tiene la bomba, simple o doble efecto indica si los pistones desplazan fluido en ambas direcciones.

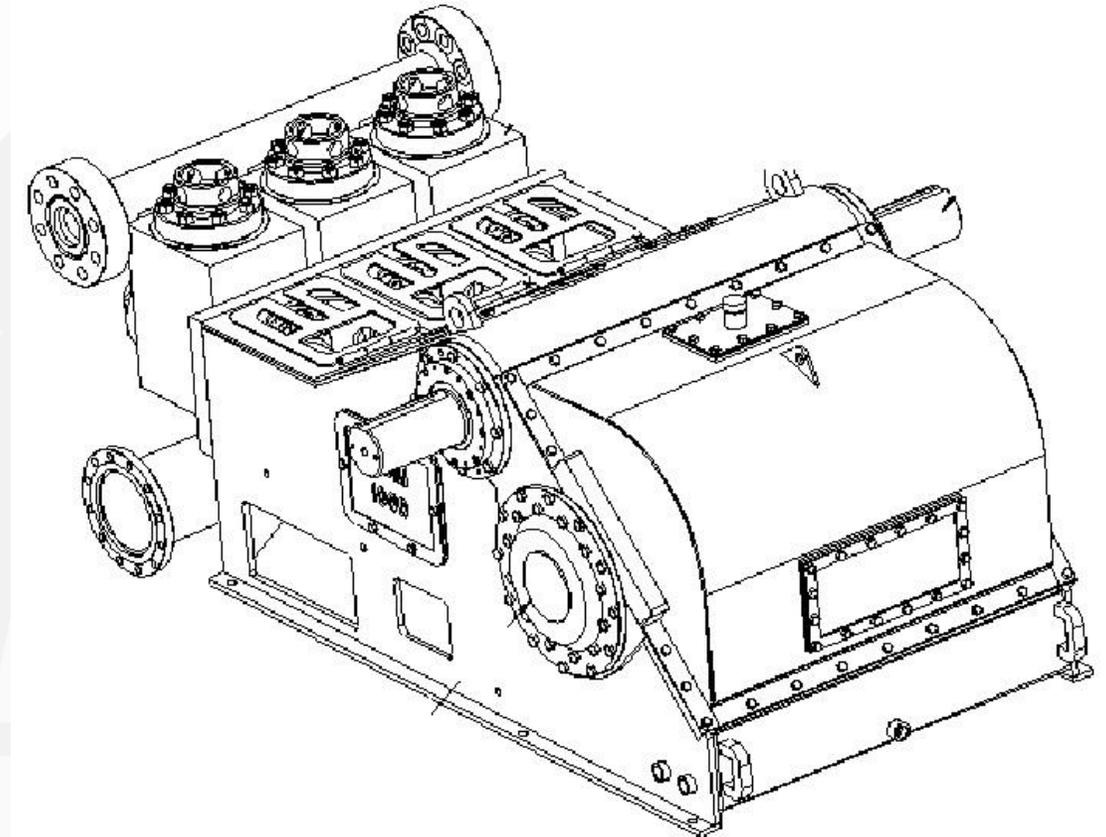
Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Bombas de lodo:** Pueden ser de motor diésel, eléctrico o diésel eléctrico. Existen de diferentes potencias, diámetros y carreras de las camisas (el lugar en donde se encuentran los pistones), y una gran variedad de marcas.



Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Bombas de lodo:** En equipos convencionales generalmente se tienen dos bombas, mismas que se operan de manera individual o en conjunto, dependiendo de la etapa, gasto y presión requerida para perforar.



Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Línea de descarga de la bomba:** Es la línea por donde la bomba descarga lo que succionó de las presas.
- **Stand Pipe o tubo vertical:** Va pegado a la torre de perforación y asciende hasta una altura determinada por el diseño del equipo, por aquí viaja el fluido que viene de la línea de descarga.
- **Manguera:** La manguera se encuentra conectada al stand pipe y el flujo continúa su camino por ella.

Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Swivel:** La manguera se conecta a este componente, por una conexión rápida conocida como cuello de ganso, y por debajo se conecta por medio de una unión giratoria al kelly, consiguiendo así que el fluido entre a este último y de ahí a la sarta de perforación.



Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Sarta de Perforación y Barrena:** Técnicamente no se asocian al sistema de circulación, sin embargo, forman parte del circuito de circulación, ya que son el medio para bombear el fluido. En la barrena el fluido es lanzado por las toberas.
- **Espacio Anular:** Es el espacio que existe entre el exterior de la sarta y el interior del agujero perforado, y también, el espacio que existe entre el exterior de la sarta y el interior de la tubería de revestimiento inmediata.

Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Sarta de Perforación y Barrena:** Técnicamente no se asocian al sistema de circulación, sin embargo, forman parte del circuito de circulación, ya que son el medio para bombear el fluido. En la barrena el fluido es lanzado por las toberas.

Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Línea de Flote o Retorno:**
Una vez que el fluido sube por el espacio anular hasta la superficie entra en una línea que se encuentra por encima del arreglo de preventores.





UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Temblorinas o Zarandas:** Son dispositivos que reciben el lodo, cuentan con mallas que sirven de coladera de los recortes, por vibración mueven estos hacia un a presa ecológica o de recolección de recortes.



Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Temblorinas o Zarandas:**

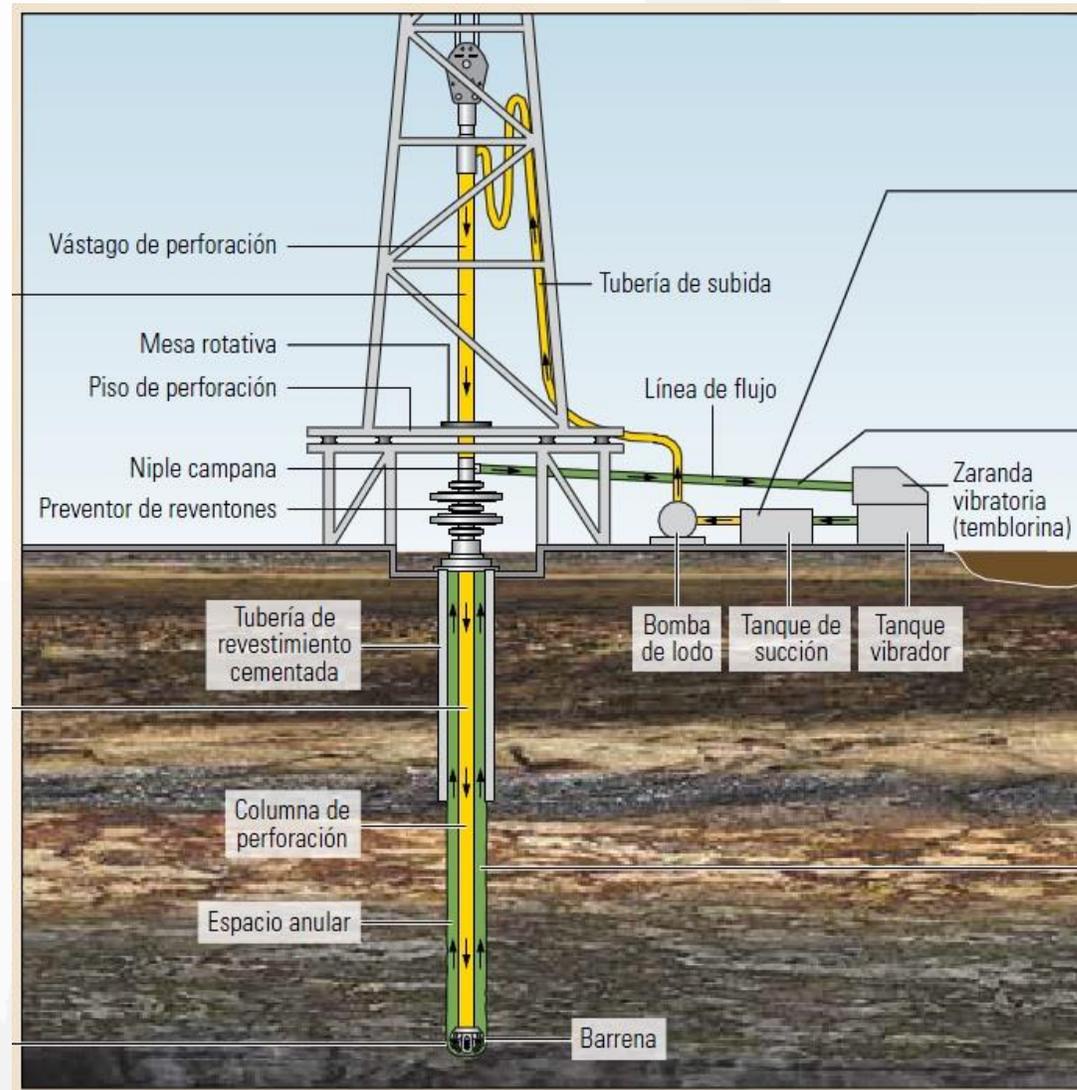


Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- Una vez en temblorinas el lodo se incorpora nuevamente a las presas, cumpliendo así el ciclo de circulación.
- Adicionalmente un sistema de circulación cuenta con otros equipos como desarenadores, desarcilladores, bombas centrífugas, etc. Estos componentes son importantes pero para efectos de este curso no los abordaremos.

Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

• Circuito de lodo.



Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Lodo de Perforación:** Es el fluido que se bombea al pozo por el interior de la sarta de perforación. Dicho fluido es una mezcla de diferentes componentes líquidos, sólidos y aditivos químicos que cumplen diferentes funciones durante la perforación de un pozo. Generalmente los fluidos son base agua o base aceite (emulsión inversa), aunque hay algunas variantes.

Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Lodo de Perforación:** Para efectos del curso revisaremos las funciones que cumple durante la perforación y realizaremos algunos cálculos básicos dejando de lado todo lo referente a la composición y propiedades reológicas, temas que se deberán de abordar en la materia correspondiente del plan de estudios de la carrera.

Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Lodo de Perforación: 1. Remoción de los recortes del pozo generados durante la perforación.** Los recortes de perforación deben ser desalojados del pozo a medida que son generados por la acción corte de la barrena. Para esto, se hace circular el fluido de perforación por dentro de la sarta de perforación y a través de la barrena, el fluido arrastra y transporta los recortes hasta la superficie, subiendo por el espacio anular. La remoción de los recortes o limpieza del agujero, depende del tamaño, forma y densidad de los recortes, el Ritmo de Penetración (ROP), además de la viscosidad, densidad y velocidad anular del fluido de perforación.

Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Lodo de Perforación: 2. Control de las Presiones de la Formación.** Una función de la que depende la integridad del pozo y el equipo de perforación, y la seguridad del personal, es la de controlar las presiones de la formación para garantizar la operación. Normalmente, a medida que la presión de la formación aumenta, se aumenta la densidad del fluido de perforación agregando barita para equilibrar las presiones y mantener la estabilidad del agujero. Esto impide que los fluidos de formación fluyan hacia el pozo y causen un reventón.

Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Lodo de Perforación: 2. Control de las Presiones de la Formación.** La presión ejercida por la columna de fluido de perforación mientras está estática (no circulando) depende únicamente de la densidad y de la Profundidad **Vertical** del pozo. Si la presión hidrostática de la columna de fluido de perforación es igual o superior a la presión de la formación, los fluidos de la formación no entrarán al pozo. Esto se conoce como sobre balance. La condición bajo balance es lo contrario, la densidad del fluido de perforación se encuentra por debajo de la necesaria para controlar el pozo permitiendo que los fluidos del yacimiento entren al pozo, pero de manera controlada.

Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Lodo de Perforación: 3. Suspensión y Acarreo de Recortes.** Los lodos de perforación deben ser capaces de suspender los recortes de perforación, los materiales densificantes y los aditivos bajo una amplia variedad de condiciones, sin embargo deben permitir la remoción de los recortes por el equipo de control de sólidos. Los recortes de perforación que se sedimentan durante condiciones estáticas pueden causar acumulaciones que pueden producir el atrapamiento de la tubería o la pérdida de circulación.

Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Lodo de Perforación: 3. Suspensión y Acarreo de Recortes.** El material densificante que se sedimenta constituye un asentamiento y causa grandes variaciones de la densidad del fluido de perforación a lo largo de todo el pozo. Las altas concentraciones de recortes son perjudiciales para cada parte vital de la operación de perforación, principalmente la eficacia de la perforación y el ritmo de penetración (ROP). Estas concentraciones aumentan la densidad y la viscosidad del lodo, produciendo mayores costos de mantenimiento y una mayor necesidad de dilución. También aumentan la potencia requerida para la circulación, el espesor del revoque, el torque y el arrastre, y la probabilidad de pegadura por presión diferencial.

Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Lodo de Perforación: 3. Suspensión y Acarreo de Recortes.** Se debe mantener un equilibrio entre las propiedades del fluido de perforación que suspenden los recortes y las propiedades que facilitan la remoción de los recortes por el equipo de control de sólidos.

Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Lodo de Perforación: 3. Suspensión y Acarreo de Recortes.** Se debe mantener un equilibrio entre las propiedades del fluido de perforación que suspenden los recortes y las propiedades que facilitan la remoción de los recortes por el equipo de control de sólidos.

Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Lodo de Perforación: 4. Enjarre para proteger zonas permeables.** La permeabilidad es la capacidad de los fluidos para moverse a través de formaciones porosas. Cuando la presión de la columna de lodo es más alta que la presión de la formación, el filtrado invade la formación y un enjarre (revoque) se forma en la pared del pozo. Los fluidos de perforación deben estar diseñados para formar un enjarre delgado de baja permeabilidad con el fin de limitar la invasión de filtrado.

Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Lodo de Perforación: 4. Enjarre para proteger zonas permeables.** Esto mejora la estabilidad del pozo y evita problemas de perforación y producción. Los problemas relacionados con un enjarre grueso y la filtración excesiva provocan registros de mala calidad, mayor torque y arrastre, tuberías atrapadas, pérdida de circulación, y daños a la formación.

Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Lodo de Perforación: 5. Estabilidad del agujero.** La composición química y las propiedades del lodo deben combinarse para proporcionar un pozo estable hasta que se pueda introducir y cementar la tubería de revestimiento. Independientemente de la composición química del fluido y otros factores, la densidad del lodo debe estar dentro del intervalo necesario para equilibrar las fuerzas mecánicas que actúan sobre el pozo (presión de la formación, esfuerzos del pozo relacionados con la orientación y la tectónica).

Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Lodo de Perforación: 5. Estabilidad del agujero.** La inestabilidad del pozo suele verse reflejada por el derrumbe de las paredes del pozo, esto puede provocar atrapamientos de sartas, incremento en el torque y arrastre, reducción o pérdida de circulación, baja velocidad anular, mala limpieza y acarreo de recortes, problemas durante la cementación, entre otras. La estabilidad del pozo se obtiene cuando éste mantiene su tamaño y su forma cilíndrica original. Al desgastarse o ensancharse de cualquier manera, el pozo se hace más débil y es más difícil de estabilizar.

Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Lodo de Perforación: 6. Minimizar los daños a la formación.**
La protección del yacimiento contra daños que puedan perjudicar la producción es muy importante. Cualquier reducción de la porosidad o permeabilidad natural de una formación productiva es considerada como daño a la formación. Estos daños pueden producirse como resultado de obturación causada por el lodo o los sólidos de perforación, o de las interacciones químicas.

Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Lodo de Perforación: 7. Enfriamiento y lubricación de la barrena, y soporte o flotabilidad de la sarta.** Las fuerzas mecánicas e hidráulicas generan calor por fricción en la barrena y en las zonas donde la sarta de perforación roza contra la tubería de revestimiento y el pozo. La circulación del fluido de perforación enfría la barrena y la sarta, alejando este calor de la fuente y distribuyéndolo en todo el pozo.

Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Lodo de Perforación: 7. Enfriamiento y lubricación de la barrena, y soporte o flotabilidad de la sarta.** Además de enfriar, el fluido de perforación lubrica la barrena y la sarta, reduciendo aún más el calor generado por fricción. Las barrenas, los motores de fondo y los componentes de la sarta de perforación fallarían más rápidamente si no fuera por los efectos refrigerantes y lubricantes del fluido de perforación.

Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Lodo de Perforación: 7. Enfriamiento y lubricación de la barrena, y soporte o flotabilidad de la sarta.** El peso que una torre de perforación puede sostener está limitado por su capacidad mecánica, un factor que se hace cada vez más importante con el aumento de la profundidad, a medida que el peso de la sarta de perforación y de la tubería de revestimiento se incrementa. Aunque el equipo de perforación tenga suficiente capacidad para manejar el peso de la columna de perforación sin flotabilidad, éste es un factor importante que se debe tener en cuenta al evaluar el punto neutro.

Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Lodo de Perforación: 7. Enfriamiento y lubricación de la barrena, y soporte o flotabilidad de la sarta.** La flotabilidad reduce la carga al sistema de izaje cuando se perfora o introduce una tubería de revestimiento a gran profundidad, este factor de flotabilidad se calcula considerando la densidad del acero con el que se fabrican las tubería y la densidad del lodo.

Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Lodo de Perforación: 8. Transmisión de la energía hidráulica a las herramientas y la barrena.** La energía hidráulica se utiliza para maximizar el ritmo de penetración (ROP), mejorando el acarreo de recortes en la barrena. Esta energía también alimenta al motor de fondo que hace girar la barrena y las herramientas MWD y LWD. Los programas de hidráulica se basan en el dimensionamiento correcto de las toberas de la barrena para utilizar la potencia disponible (presión o energía) de la bomba de lodo a fin de maximizar la caída de presión en la barrena u optimizar la fuerza de impacto del chorro sobre el fondo del pozo.

Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Lodo de Perforación: 9. Asegurar la evaluación adecuada de la formación.** La evaluación correcta de la formación es esencial para el éxito de la operación de perforación. Las propiedades químicas y físicas del lodo afectan la evaluación de la formación. Las condiciones físicas y químicas del agujero después de la perforación también afectan la evaluación de la formación.

Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Lodo de Perforación: 9. Asegurar la evaluación adecuada de la formación.** Si el transporte de los recortes no es bueno, será difícil para el geólogo determinar la profundidad a la cual los recortes se originaron. Los lodos a base de petróleo, lubricantes, asfaltos y otros aditivos ocultan los indicios de hidrocarburos en los recortes. Ciertos registros eléctricos son eficaces en fluidos conductores, mientras que otros lo son en fluidos no conductores.

Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Lodo de Perforación: 9. Asegurar la evaluación adecuada de la formación.** Las propiedades del fluido de perforación afectarán la medición de las propiedades de la roca por las herramientas eléctricas de cable. El filtrado excesivo puede expulsar el petróleo y el gas de la zona próxima al agujero, perjudicando los registros y las muestras obtenidas por algunas pruebas de evaluación de producción. Los lodos que contienen altas concentraciones iónicas de potasio perjudican el registro de la radioactividad natural de la formación.

Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Lodo de Perforación: 10. Facilitar la cementación y la terminación del pozo.** El fluido de perforación debe permitir que la tubería de revestimiento pueda ser introducida y cementada eficazmente, y que no dificulte las operaciones de terminación. La cementación es crítica para el aislamiento eficaz de la zona y la terminación exitosa del pozo. Durante la introducción de la tubería de revestimiento, el lodo debe permanecer fluido y minimizar el suabeo y pistoneo, de manera que no se produzca ninguna pérdida de circulación inducida por las fracturas o un posible descontrol del pozo.

Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Lodo de Perforación: 10. Facilitar la cementación y la terminación del pozo.** El lodo debe tener un enjarre delgado para que se pueda cementar correctamente la tubería de revestimiento, además todo el lodo debe ser desplazado por los espaciadores, los fluidos de limpieza y el cemento. El desplazamiento eficaz del lodo requiere que el pozo tenga un calibre casi uniforme y que el lodo tenga una baja viscosidad y bajas resistencias de gel.

Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Lodo de Perforación:** Las anteriores son las principales funciones de un lodo de perforación, de un autor a otro pueden variar un poco en cuanto al número agregando más funciones que no necesariamente son vitales. Las enumeradas aquí son las más importantes y ningún autor debería omitirlas.

Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Cálculos básicos de sartas y lodo:** Los cálculos fundamentales para perforar un pozo no requieren de matemáticas avanzadas o de computadoras de alto rendimiento, basta con una calculadora, saber sumar, restar, multiplicar y dividir, y ya en un nivel más complejo elevar al cuadrado y sacar una raíz cuadrada.

Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

• Cálculos básicos de sartas y lodo:

• Capacidad de un tubo: $0.5067 * (d_{int}^2 [pg^2]) = [l/m]$.

• Capacidad espacio anular: $0.5067 * (D_{int}^2 [pg^2] - d_{ext}^2 [pg^2]) = [l/m]$.

• $V = Cap_{EA\backslash AG\backslash TP\backslash TR} [l/m] * Profundidad_{EA\backslash AG\backslash TP\backslash TR} [m] = [l]$.

• Factor de Flotación: $F_f = 1 - \frac{\rho_{lodo} [g/cm^3]}{\rho_{acero} [g/cm^3]} = [1], \rho_{acero} = 7.85 [g/cm^3]$.

• Peso de la sarta en el aire: $Peso_{sarta} = Peso_{nominal} [lb/pie] * Longitud [pie] = [lb]$.

• Peso de la sarta flotada: $Peso_{flotada} = Peso_{sartaenaire} [lb] * F_f [1] = [lb]$.

• Presión Hidrostática: $P_h = \frac{\rho_{lodo} [g/cm^3] * h [m]}{10} = [kg/cm^2] \text{ por } 14.22 [lb/pg^2]$.

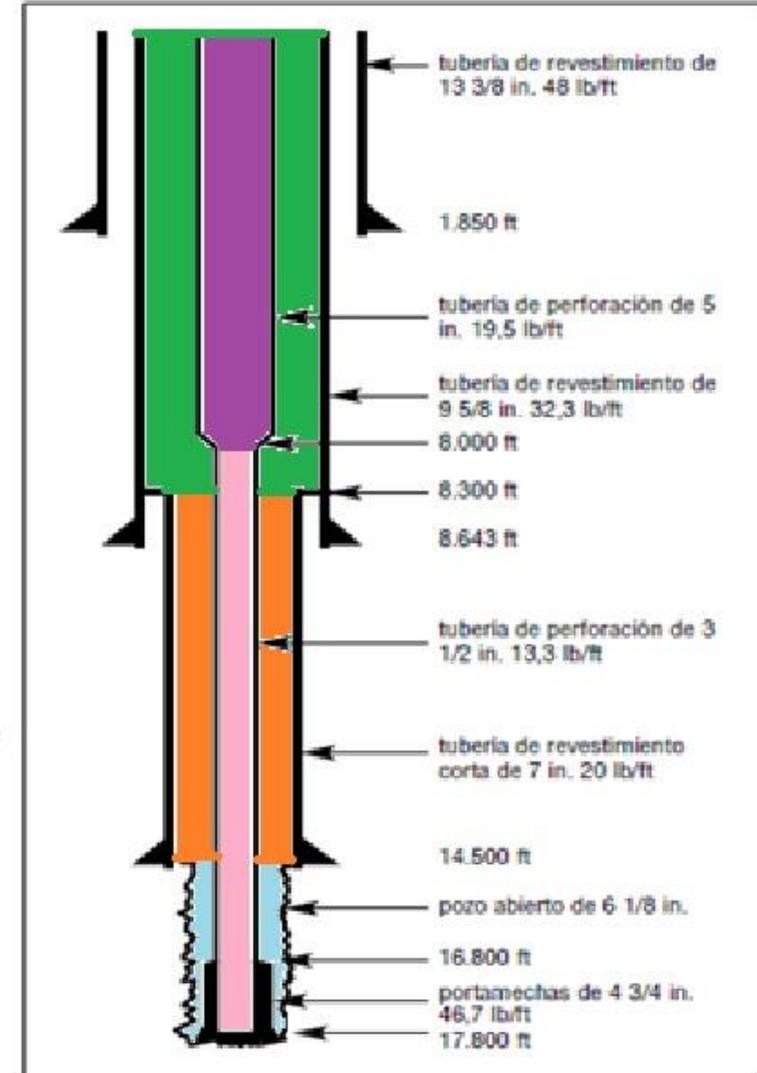
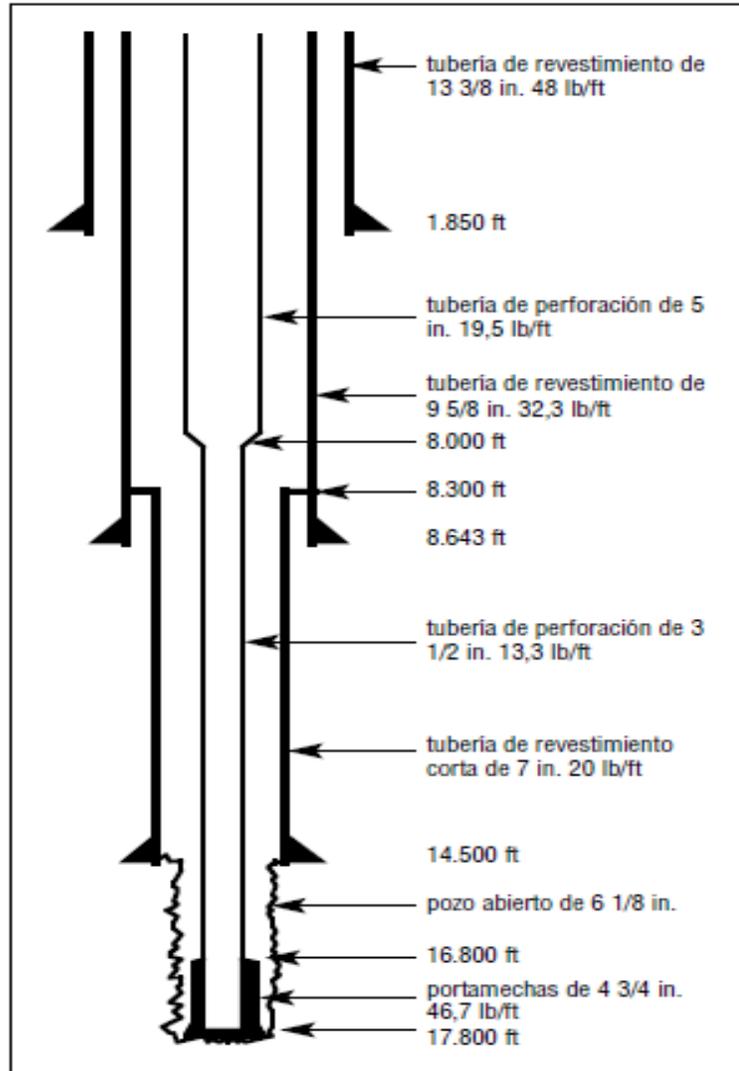
Equipos de Perforación: Sistema de Circulación

- **Cálculos básicos de sartas y lodo:**

- Tiempo de atraso: $\frac{VOL_{EA}[l]}{Q[l/min]} = [min]$.

- Tiempo ciclo completo: $\frac{VOL_{TOTALPOZO}[l]}{Q[l/min]} = [min]$.

Equipos de Perforación: Sistema de Circulación



Equipos de Perforación – Sistema de Circulación

• Ejercicios.

• Deducir la factor 0.5067 de la fórmula $Cap = 0.5067 * (d[pg])^2 = [lt/m]$

• $\text{Área}_{\text{circulo}} = \frac{\pi}{4} * d^2$

• De la figura $\text{Área}_{\text{circ}} = \frac{\pi}{4} * (1[pg])^2 = 0.7854[pg]^2$

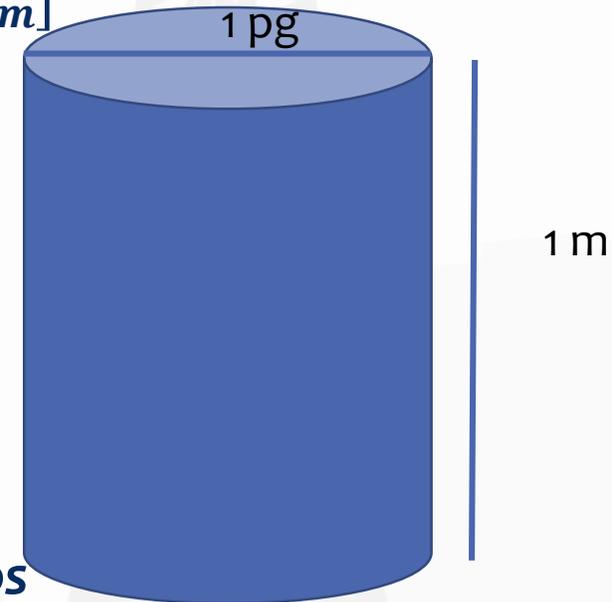
• Se convierte a m^2 el resultado anterior

• $0.7854[pg^2] * \left(\frac{1[pie^2]}{144[pg^2]}\right) * \left(\frac{0.0929[m^2]}{1[pie^2]}\right) = 0.0005067[m^2]$

• Se multiplica por la altura para obtener volumen

• $Vol = 0.0005067[m^2] * 1[m] = 0.0005067[m^3]$ convirtiendo a litros

• $0.0005067[m^3] * \left(\frac{1000[lt]}{1[m^3]}\right) = 0.5067[lt]$ Esto al venir de un volumen contenido en 1[m] se puede representar como $0.5067 \left[\frac{lt}{m}\right]$





GRACIAS

Ing. Juan Carlos Sabido Alcántara

Ingeniero Petrolero

Facultad de Ingeniería UNAM