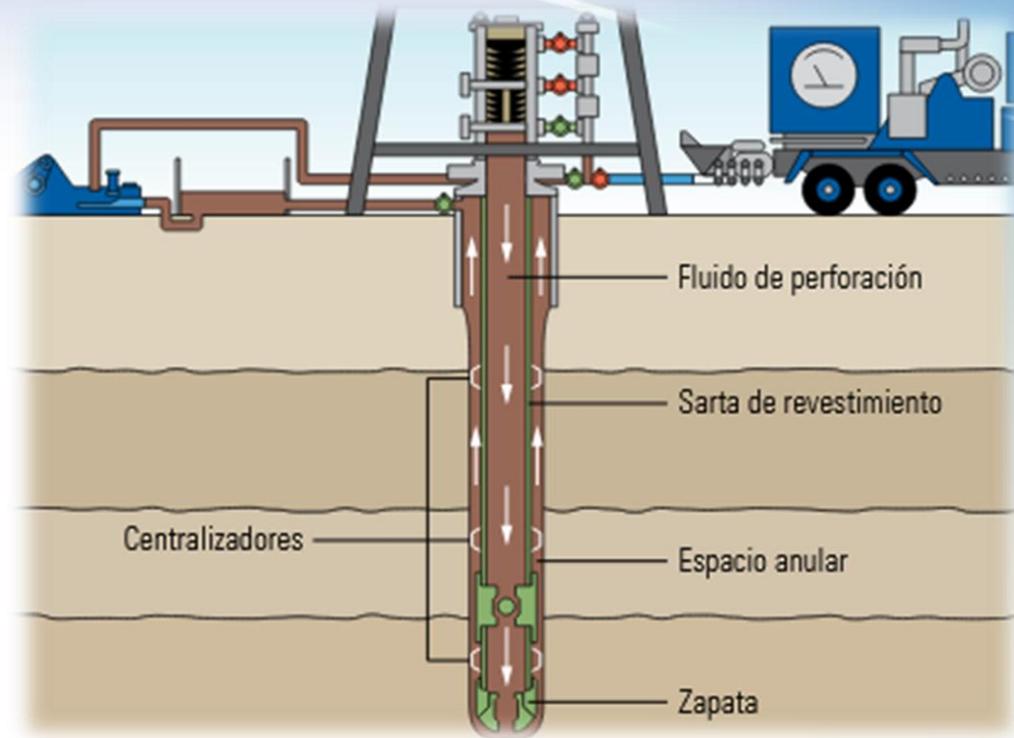


# CEMENTACIÓN DE POZOS PETROLEROS



FOLD-AND-THRUST BELT  
GEOLOGICAL CUBA

Oil reservoir

# UNIDAD II

## REOLOGÍA E HIDRÁULICA DE LA CEMENTACIÓN



# INTRODUCCIÓN

## REOLOGÍA

Es la ciencia y el estudio de la deformación y el flujo de la materia. El término también se utiliza para indicar las propiedades de un líquido dado, como en la reología de los lodos. La reología es una propiedad sumamente importante de los lodos de perforación, los fluidos de reacondicionamiento y terminación, los **cementos** y los fluidos especializados.

## HIDRÁULICA

La hidráulica es una rama de la mecánica de fluidos que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas de los fluidos. Todo esto depende de las fuerzas que se interponen con la masa y a las condiciones a que esté sometido el fluido, relacionadas con la viscosidad de este.

La hidráulica de la cementación de pozos se refiere a la interrelación de los efectos de viscosidad, tasa de flujo y presión de circulación sobre el comportamiento eficiente de la lechada de cementación.



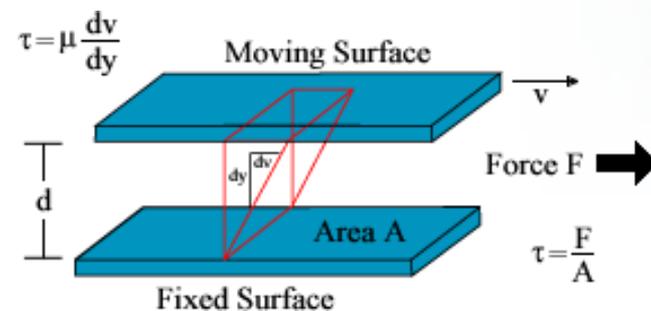
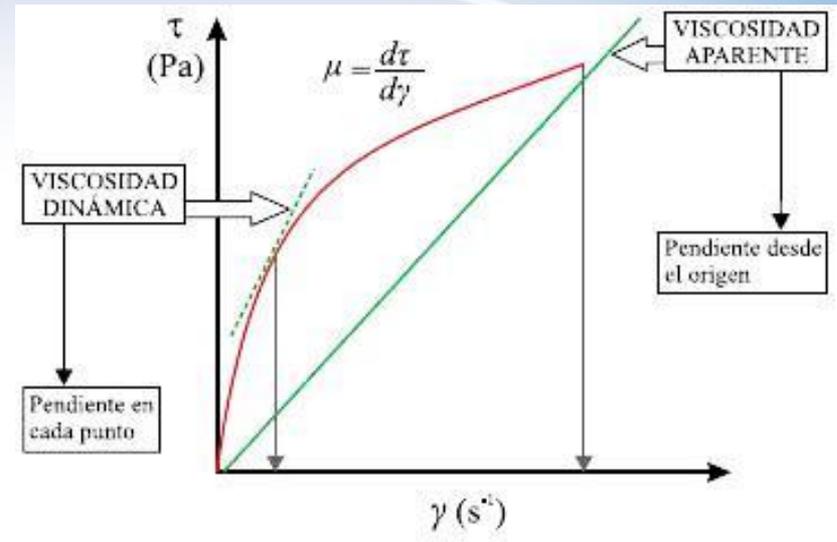
# REOLOGÍA

## PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

**Viscosidad:** Es la resistencia interna que ofrece un fluido al movimiento.

**Esfuerzo De Corte:** Fuerza de fricción que se ejerce cuando una lamina de fluido se desliza sobre otra. (Fuerza por unidad de área).

**Velocidad De Corte:** Velocidad relativa de dos laminas de fluido dividido por la distancia entre laminas (velocidad por unidad de longitud)



FOLD-AND-THRUST BELT  
GEOLOGICAL CUBA

Oil reservoir



# REOLOGÍA

## TIPOS DE FLUIDOS

### Fluidos Newtonianos

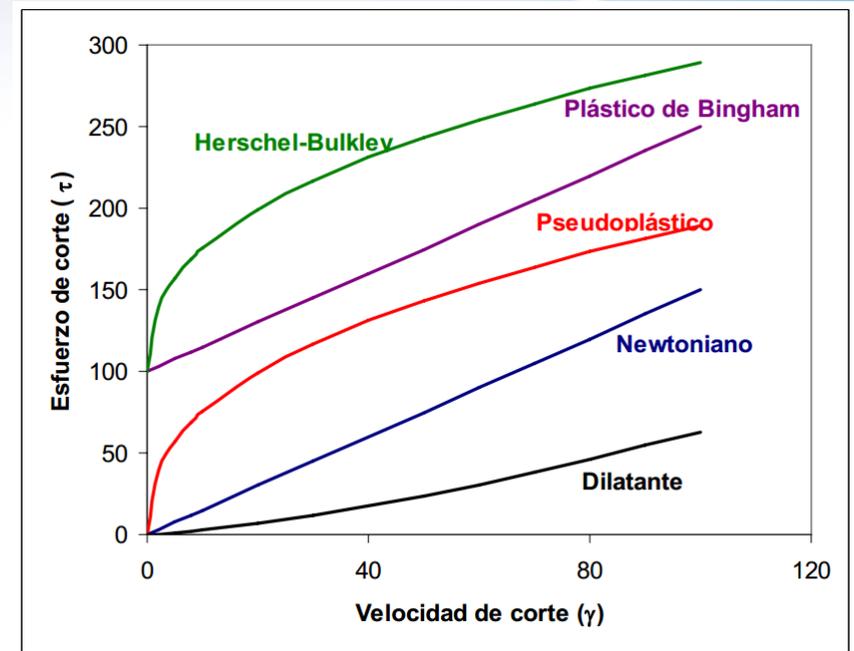
Son fluidos donde se cumplen la ley de Newton: “El esfuerzo de corte es proporcional al gradiente de velocidad o velocidad de corte”

$$\tau_{rz} = -\mu \frac{\partial v_z}{\partial r} = \mu \dot{\gamma}$$

### Fluidos No Newtonianos

Todos aquellos fluidos que no siguen la ecuación anterior son “no newtonianos”. Estos pueden ser:

- Dependientes del Tiempo:
  - ✓ Plástico de Bingham
  - ✓ Pseudoplásticos
  - ✓ Dilatantes
- Independientes del Tiempo:
  - ✓ Tixotrópicos
  - ✓ Reopécticos



# REOLOGÍA

## MODELO PLÁSTICO DE BINGHAM

Se denomina plástico ideal o de Bingham a las sustancias o fluidos que para tensiones tangenciales inferiores a un valor característico  $\tau_0$  se comportan elásticamente, y superado ese valor muestran un comportamiento similar al de un fluido newtoniano.

### Viscosidad Plástica

Es el aporte a la viscosidad global debido a la cantidad, tipo, tamaño y forma de los sólidos en el fluido.

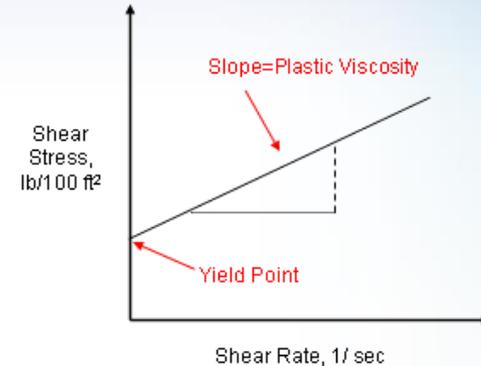
### Punto Cedente

Es el aporte a la viscosidad global debido a la interacción electrostática de las partículas sólidas en el fluido.

$$VP = L_{600} - L_{300}$$

$$PC = L_{300} - VP$$

## Bingham Plastic Model



Donde:

$VP$  = Viscosidad Plástica (cp)

$PC$  = Punto Cedente (lb/100ft<sup>2</sup>)

$L_{600}$  = Lectura del reómetro a 600 rpm

$L_{300}$  = Lectura del reómetro a 300 rpm



# REOLOGÍA

## MODELO EXPONENCIAL (PSEUDOPLÁSTICOS)

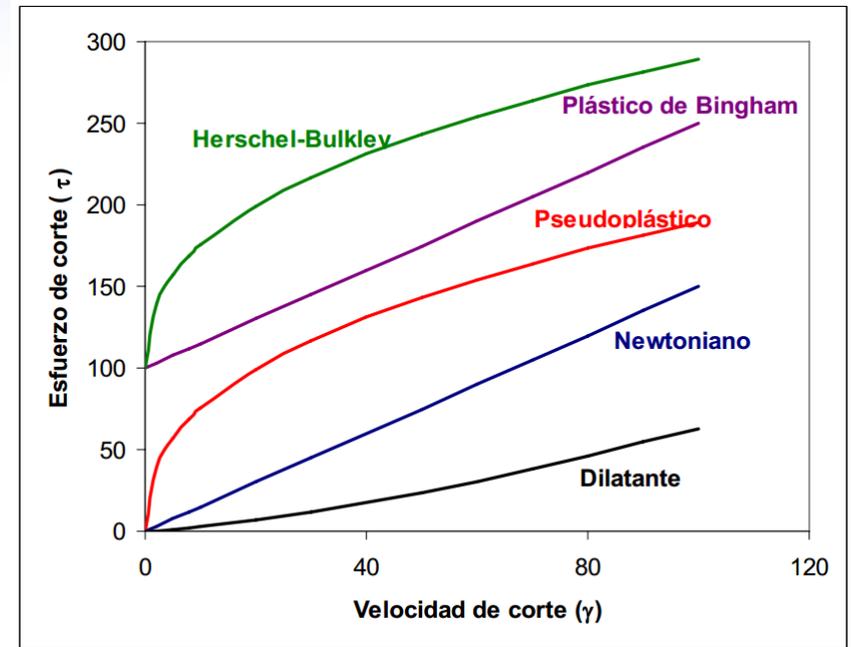
Los fluidos pseudoplásticos no tienen una tensión de fluencia para que comiencen a deformarse, pero la viscosidad medida por la pendiente de la curva  $\tau = f(\dot{\gamma})$  es alta para bajas velocidades de deformación, y decrece con el incremento de la velocidad.

$$\tau = k\dot{\gamma}^n$$

Donde:

$K$  = Índice de consistencia

$n$  = Índice de flujo (adim)



# HIDRÁULICA

## TIPOS DE FLUJO

### Flujo Tapón

- Las velocidades son muy bajas
- Perfil de velocidades recto.
- Bajos esfuerzos sobre el fluido

### Flujo Laminar

- Velocidades de flujo moderadas.
- El fluido fluye en una línea recta paralela al centro de la cañería.
- Velocidad en las paredes igual a cero.
- Velocidad máxima en el centro.
- Genera moderado esfuerzo sobre el fluido

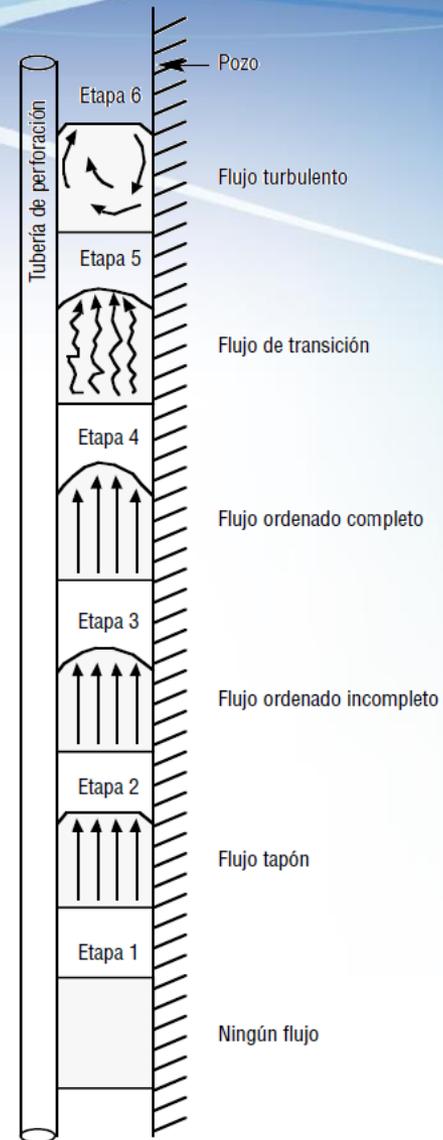
### Flujo Turbulento

Velocidades de flujo altas.

Movimiento desordenado con formación de vórtices (rotación espiral).

Punto de velocidad máxima indefinible.

Genera el máximo esfuerzo sobre el fluido



# HIDRÁULICA

## CÁLCULO DE LA HIDRÁULICA DE CEMENTACIÓN

### Índice de flujo

$$n = 3,32 * \log \frac{L_{600}}{L_{300}}$$

### Índice de consistencia

$$k = \frac{1,066 * N * L_{300}}{100 * 511^n}$$

Donde:

N = Coeficiente de resorte de reómetro (N=1)

$L_{600}$  = Lectura del reómetro a 600 rpm

$L_{300}$  = Lectura del reómetro a 300 rpm

### Velocidad Crítica (ft/s)

$$V_c = \left[ \frac{N_R * k * \left( \frac{96}{d_e} \right)^n}{1,86 * \rho_{Lech}} \right]^{\frac{1}{2-n}}$$

Donde:

$\rho_{Lech}$  = Densidad de la Lechada (ppg)

$N_R$  = Número de Reynolds

$d_e$  = Diámetro equivalente (pulg)

**Para flujo Turbulento:**

$$N_R = 2100$$

$$d_e = d_{mayor} - OD_{cañ}$$

**Para flujo Tapón:**

$$N_R = 100$$

$$d_e = d_{menor} - OD_{cañ}$$



# HIDRÁULICA

## CÁLCULO DE LA HIDRÁULICA DE CEMENTACIÓN

### Caudal Crítico (BPM)

$$Q_c = V_c * Cap * 60$$

Donde:

Capacidad para Flujo Turbulento (bbl/ft)

$$Cap = \frac{d_{mayor}^2 - OD_{cañ}^2}{1029,4}$$

Capacidad para Flujo Tapón (bbl/ft)

$$Cap = \frac{d_{menor}^2 - OD_{cañ}^2}{1029,4}$$

### Caudal Óptimo (BPM)

Se debe determinar un caudal óptimo múltiplo de 0,25 BPM, ya sea  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$ , 1, 1.25, 1.5 hasta 14 BPM como máximo.

Si se trabaja con flujo turbulento, se aproxima al múltiplo de 0,25 inmediato superior.

Si se trabaja con flujo tapón, se aproxima al múltiplo de 0,25 inmediato inferior



# HIDRÁULICA

## CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS POR FRICCIÓN

Velocidad de la Lechada @  $Q_{\text{ópt}}$

$$V_{Lech} = \frac{Q_{\text{ópt}}}{Cap * 60}$$

Donde:

Capacidad (bbl/ft)

$$Cap = \frac{d_{\text{promedio}}^2 - OD_{\text{cañ}}^2}{1029,4}$$

Número de Reynolds

$$N_R = \frac{V_{Lech}^{2-n} * \rho_{Lech} * 1,86}{k * \left(\frac{96}{d_e}\right)^n}$$

Donde:

$$d_e = d_{\text{promedio}} - OD_{\text{cañ}}$$

Factor de Fricción

Flujo Tapón

$$f = \frac{16}{N_R}$$

Flujo Turbulento

$$f = 4,54 * 10^{-3} + 0,645 * N_R^{-0,7}$$

Pérdidas de Presión por Fricción (psi)

$$\Delta P_f = \frac{0,039 * \rho_{Lech} * V_{Lech}^2 * f * Long}{d_e}$$

FOLD-AND-THRUS T BEL T  
GEOLO GYI N CUBA

Oil reservoir



# EJERCICIO

FOLD-AND-THRUST BELT  
GEOLOGY IN CUBA

Oil reservoir



# EJERCICIO

Se tiene una cañería de 9 5/8"; P-110; 43,5 lb/ft; ID=8,755" asentada en 3010 m. El último tramo fue perforado con trépano de 8 1/2". El fondo del pozo está en 3813 m MD.

Los datos del calíper son los siguientes:

Diámetro mayor 9 3/4", Diámetro menor 8 1/2" y Diámetro promedio 9,5".

El programa a seguir indica bajar y cementar cañería de producción de 7"; 29 lb/ft; P-110; ID=6,039" hasta los 3810 m. El collar flotador estará en 3796 m.

Lodo:

Base agua, Densidad 9,5 ppg, VP 22 cp, PC 18 lb/100ft<sup>2</sup>.

Lechada principal:

Cemento clase G, tiempo de bombeabilidad 6 hrs.

Retardador 0,14% ; PE 1,6

Bloqueador de gas 1%; PE 1,43

Agua 5,39 gal/saco.

VP 180 cp; PC 34 lb/100ft<sup>2</sup>.

Tope lechada de cemento en 3100 m.

Determinar el caudal óptimo para la cementación y la pérdida de carga por fricción cuando la lechada está terminando de ser desplazada con el caudal óptimo encontrado.

