

CORRECCIÓN POR VISCOSIDAD B.C.

Prof. Jesús De Andrade


Prof. Miguel Asuaje

Febrero 2010

OPERACIÓN DE BOMBAS CON LÍQUIDOS VISCOSOS – O LÍQUIDOS ESPECIALES

Después de bombeo de agua, el bombeo de crudo es el más importante.

En muchas aplicaciones, y sobretodo la petrolera, un factor importante en la selección de la bomba es la **viscosidad del líquido**.

Cuando μ  El desempeño de la bomba es mucho más difícil.



Sería útil encontrar $H=f(\mu,Q)$
 $P=f(\mu,Q)$
 $\eta=f(\mu,Q)$

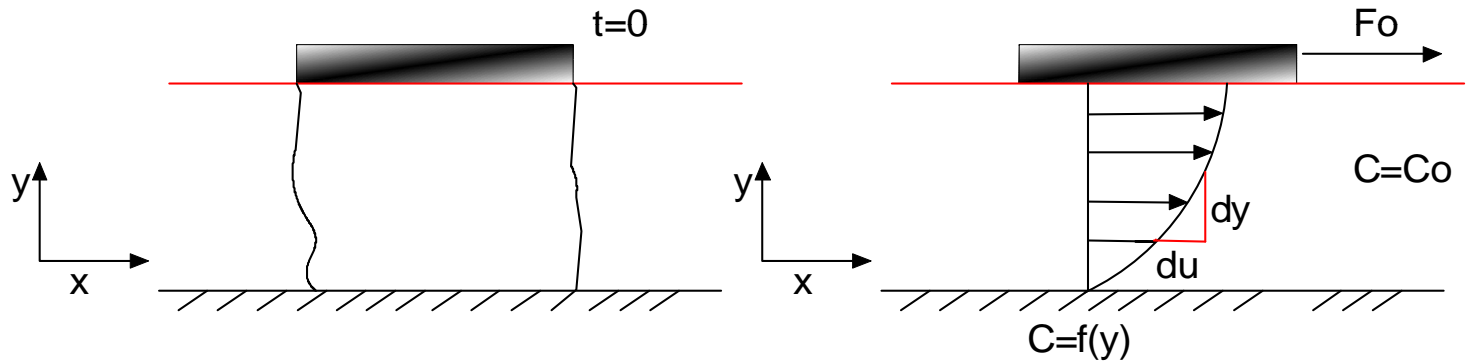


Para poder dimensionar correctamente el equipo, o mejor aún, para comprender cómo funciona y operarlo adecuadamente.

Repaso - Viscosidad

Definición:

Resistencia al corte que ofrece el líquido.



$$\tau \propto \frac{du}{dy}, \quad \tau = \mu \frac{du}{dy}$$

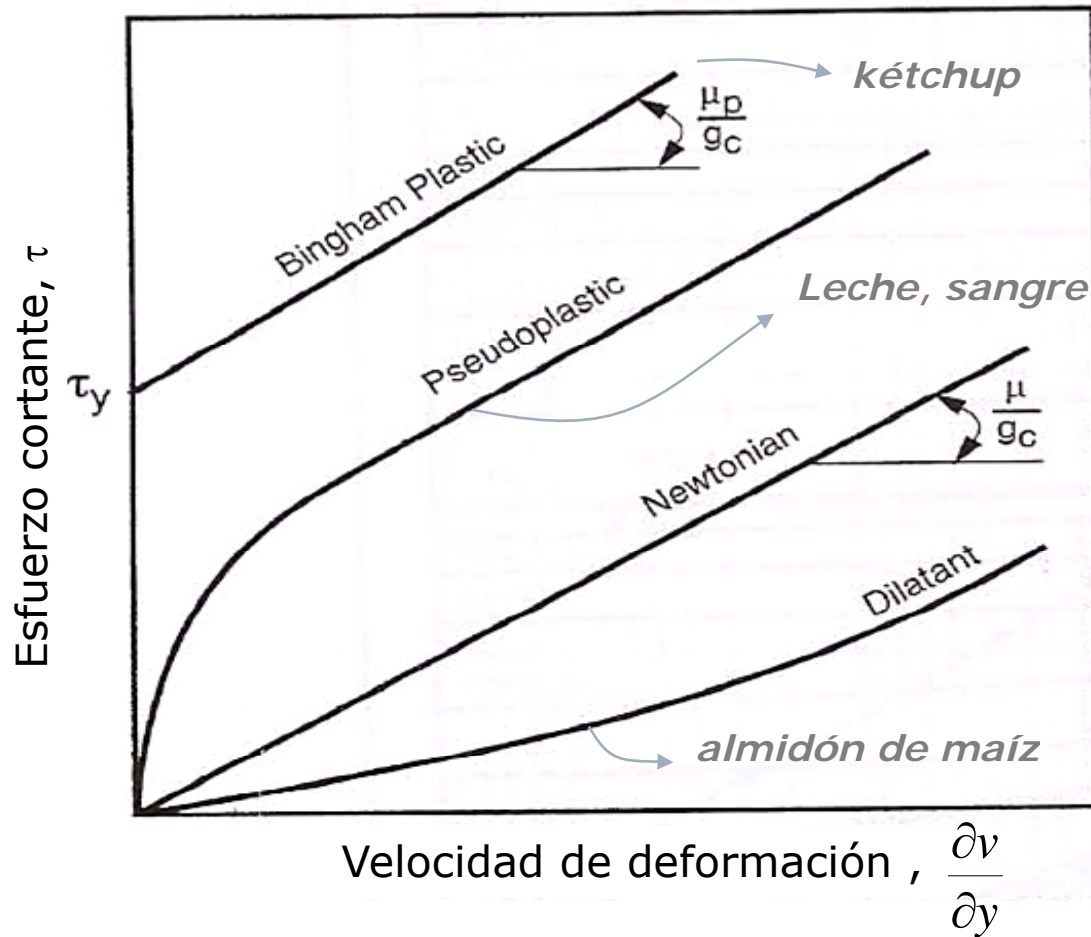
Para fluidos Newtonianos. i.e: H_2O
 $\mu = 1,0020$ [cp] @ 20 °C

μ Viscosidad Dinámica

$\mu \rightarrow$ centipoise [cp]=0,01poise / [cp]=0,01g/cm.s

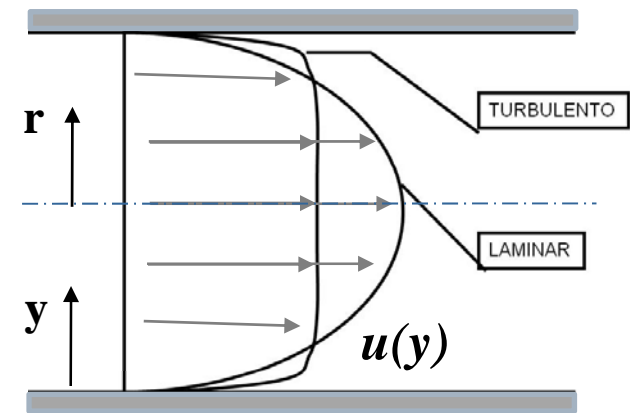
Repaso - Viscosidad

Curvas de Esfuerzo de Fluidos Newtonianos y No-Newtonianos



Fluido newtoniano:

$$\tau = \mu \frac{\partial v}{\partial y}$$



Repaso - Viscosidad

Relacionando la viscosidad con la densidad:

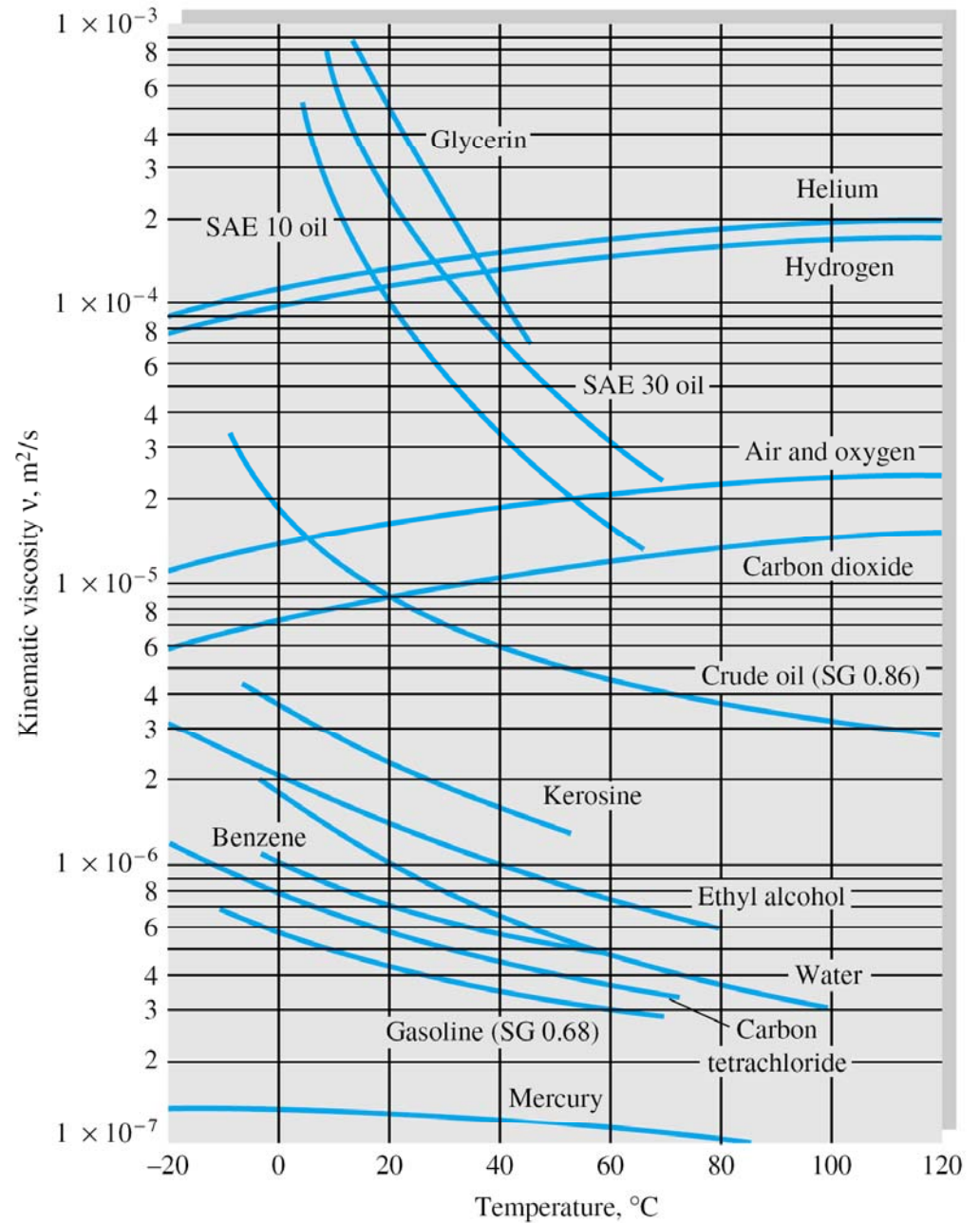
$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \left[\frac{m^2}{s} \right] \longrightarrow \text{Viscosidad Cinemática}$$

$$1cst = 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

Otra unidad de viscosidad muy común:

[SSU -Sayboll Second Universal]

Viscosidad de algunos fluidos en función de la temperatura



Bombeo de Líquidos Viscosos

Las BC son generalmente “bien” aplicadas en servicios con fluidos de viscosidades < 660 cst. Pudiendo llegar hasta los 3300 cst; un valor conservador máximo es de 1000cst. Sin embargo, el bombeo de fluidos viscosos se hace generalmente con BOMBAS VOLUMÉTRICAS

Ventajas de las BC sobre las Volumétricas

- No pulsan
- No requieren válvulas de seguridad (alivio)
- Facilidad de regulación

Desventajas

- La eficiencia disminuye

Por supuesto H vs Q bajan:

Se disminuyen las capacidades de la bomba.

Bombeo de Líquidos Viscosos

Importante:

Para viscosidades superiores a $500 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, debemos verificar NPSHd.

$$\text{NPSHd} = f(\Sigma \text{pérdidas succión})$$

Si $\mu \uparrow \rightarrow \Sigma p \downarrow \rightarrow \text{NPSHd} \downarrow$

TMH con líquidos viscosos

Experimentalmente se han corroborado los siguientes aspectos:

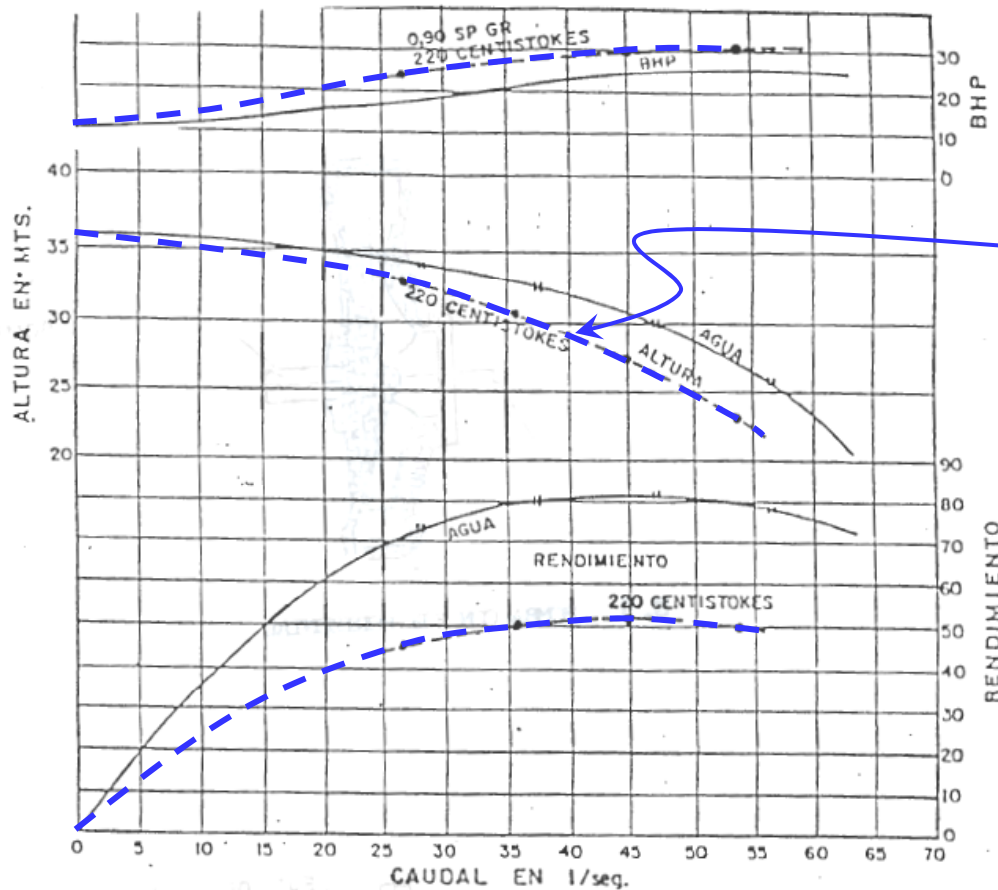
- ★ Las leyes de semejanza parcial se mantienen para distintas viscosidades, pero con menor exactitud que para el agua
- ★ Para el punto nominal, el n_q permanece constante
- ★ A $N=cte$ la curva H vs. Q decrece cuando la viscosidad de incrementa, pero la $H @ Q=0$ permanece aproximadamente **constante**

Determinación de las Características de Trabajo

- ★ Al haber un cambio en la viscosidad ocurre:
 - ★ Aumento de Potencia Requerida
 - ★ Reducción de Altura de bombeo
 - ★ Reducción del Caudal
- ★ Mediante métodos gráficos se puede determinar la forma de trabajo de las bombas centrifugas convencionales, *con previo conocimiento de su operación con agua*

TMH para líquidos viscosos

Curvas características al cambiar la viscosidad del fluido de trabajo de una Bomba



Bomba Modelo

(operación con agua)

(operación con flujo más viscoso)

Las curvas de corrección no son exactas para ninguna bomba en particular, *solo se deben tomar como aproximaciones.*

Definiciones

$$Q_{vis} = CQ \times Q$$

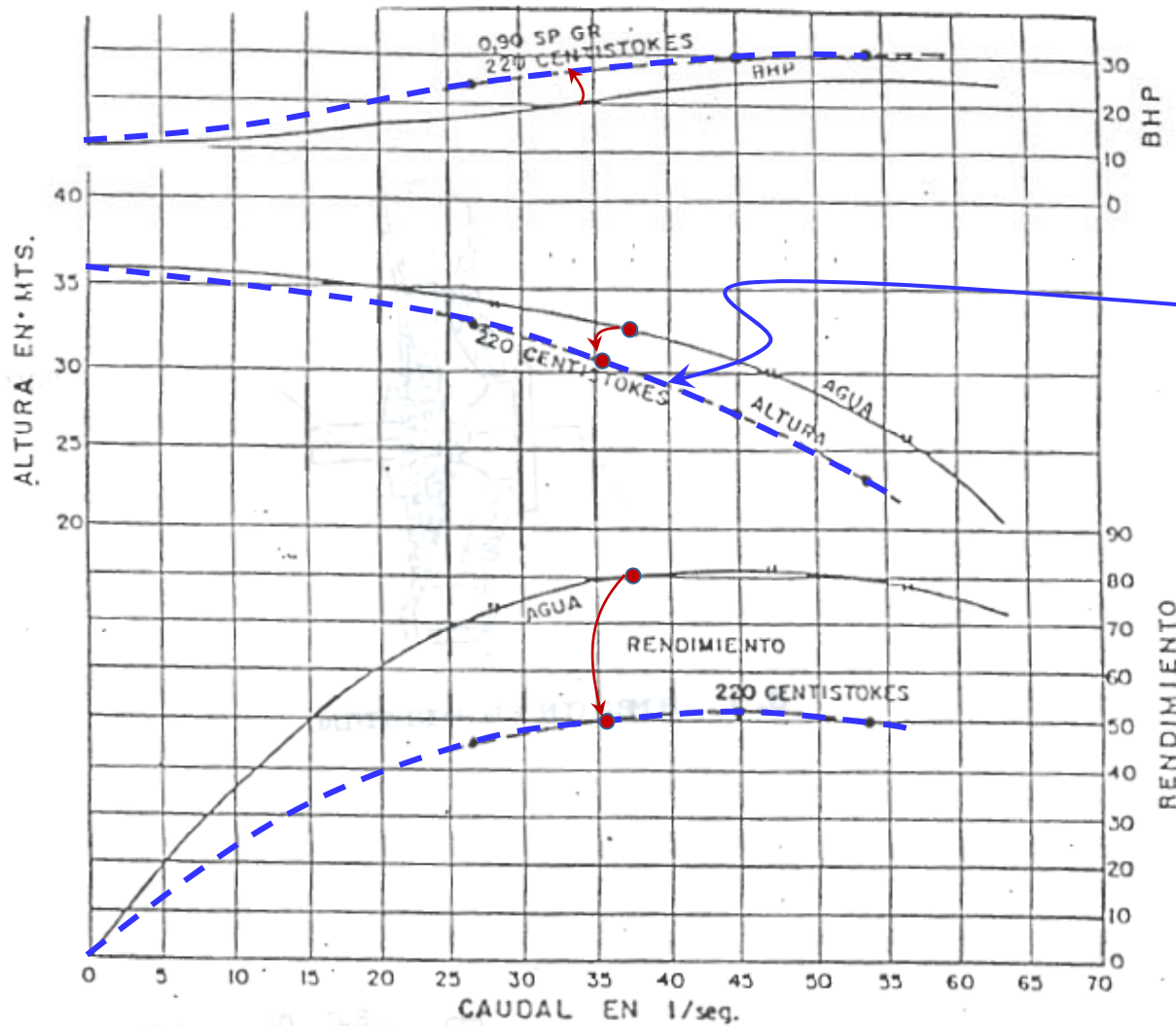
$$H_{vis} = CH \times H$$

$$\eta_{vis} = C\eta \times \eta$$

$$P_{vis} = \frac{Q_{vis} \times H_{vis} \times \gamma_{vis}}{\eta_{vis}}$$

Los valores de CQ CH $C\eta$
se estiman en gráfico.

Procedimiento



Bomba Modelo
(operación con agua)
(operación con flujo viscoso 220 cst)

Procedimiento

Si quiero bombear
750gpm una altura de
100ft de un fluido de
viscosidad 1000 SSU

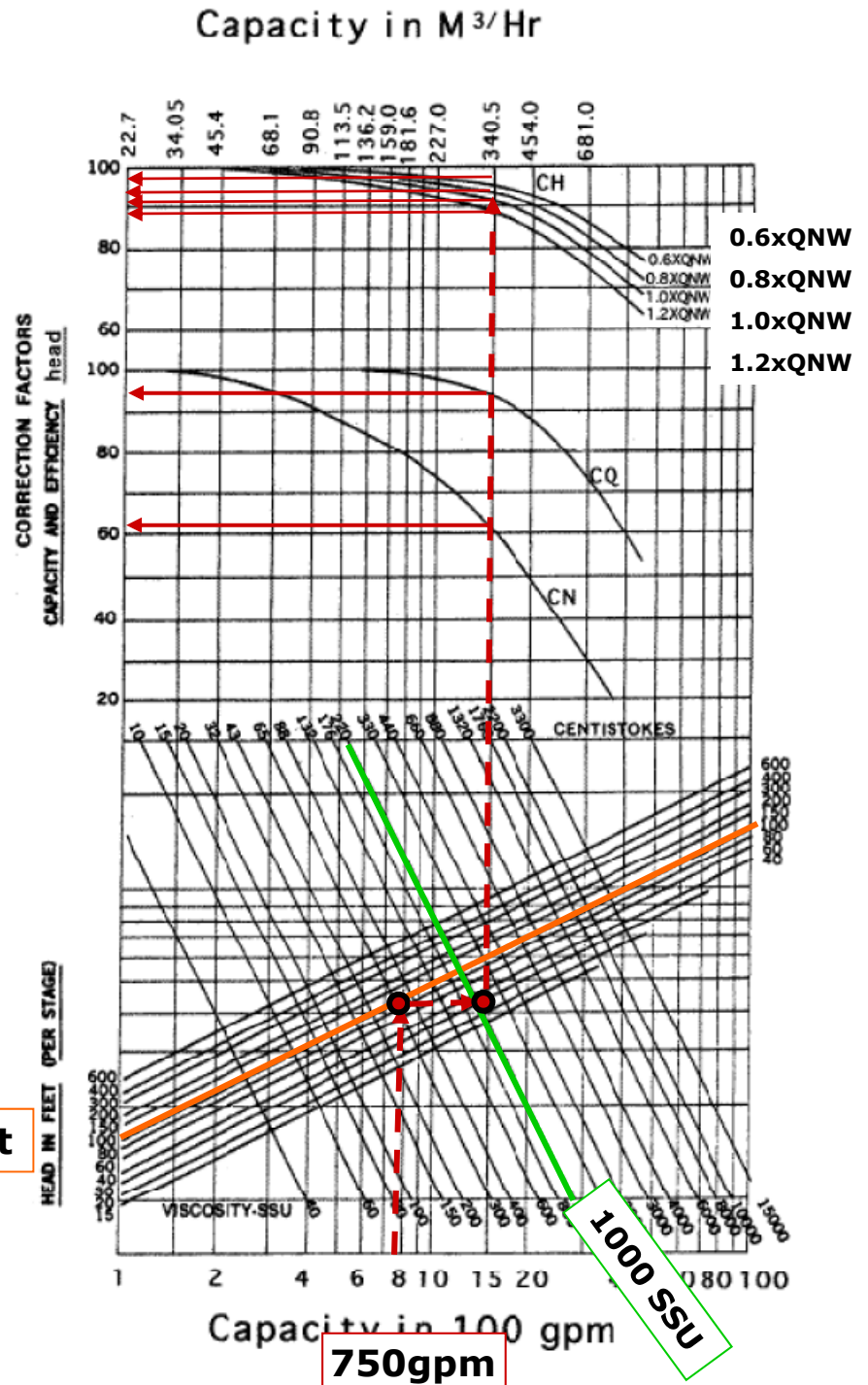
Ejemplo punto nominal:

*Se parte del caudal de operación,
Se intercepta con la línea de altura,
Luego con la línea de viscosidad,
Se obtienen los factores de corrección*

100ft

SSU: Segundos Saybolt Universales

SSU = 4.55 * cSt, si cSt > 50



Procedimiento

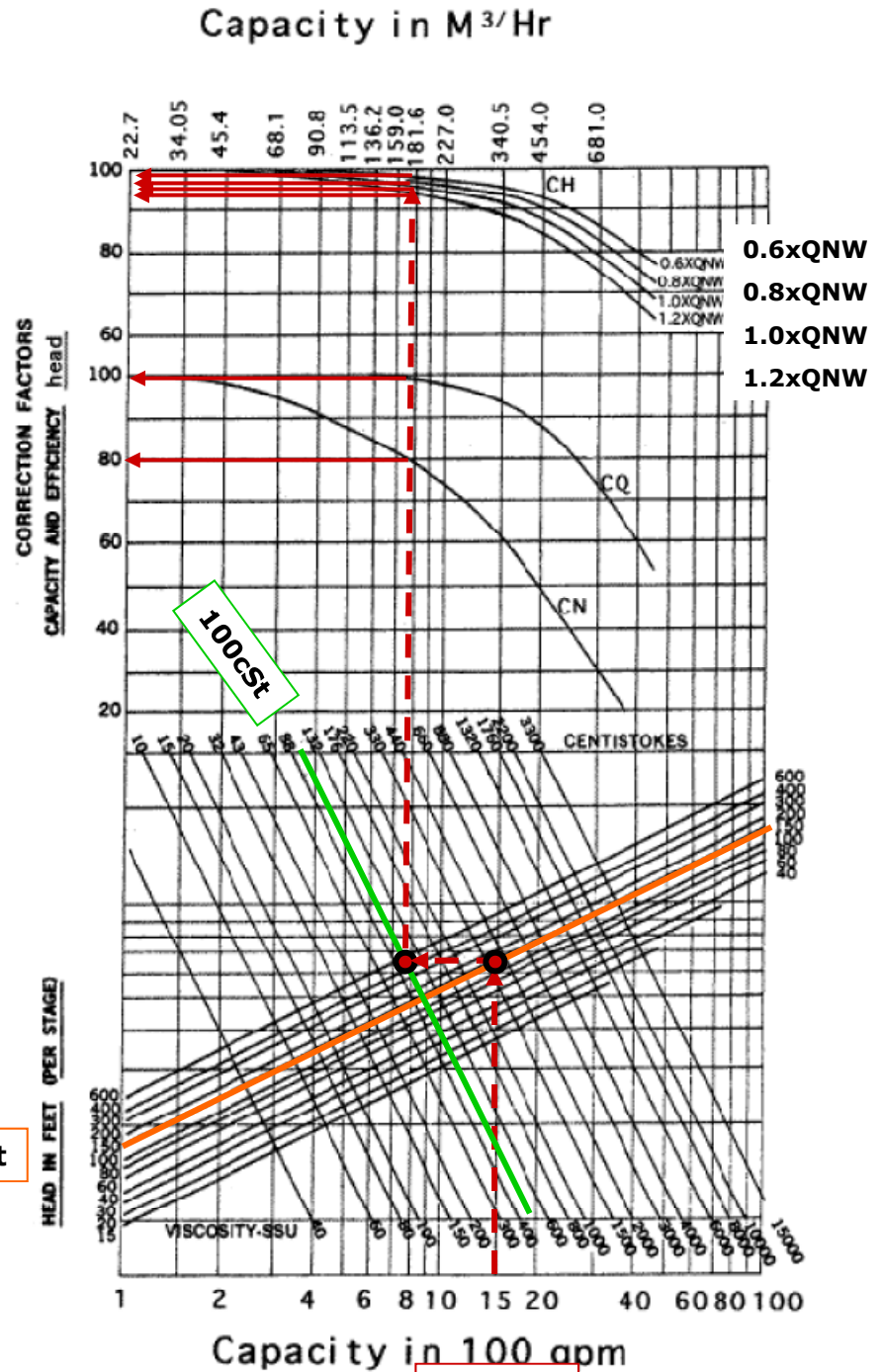
Si quiero bombear
1500gpm una altura de
144ft de un fluido de
viscosidad 100 cSt

Ejemplo punto nominal:

*Se parte del caudal de operación,
Se intercepta con la línea de altura,
Luego con la línea de viscosidad,
Se obtienen los factores de corrección*

144ft

1500gpm



Ejemplo de cálculo

Gráfico de curvas características anterior

EJEMPLO DE CALCULO

	0,6 x Q	0,8 x Q	1,0 x Q	1,2 x Q
Caudal de Agua (Q)	28,39	37,86	47,32	56,78
Altura de Agua en m. (H)	34,74	32,91	30,48	26,21
Rendimiento con Agua (η)	72,5	80	82	79,5
Viscosidad de Líquidos	220	220	220	220 (Centisth)
C_Q del Gráfico N° 3	0,95	0,95	0,95	0,95
C_H del Gráfico N° 3	0,96	0,94	0,94	0,89
C_η del Gráfico N° 3	0,635	0,635	0,635	0,635
Caudal con el líquido viscoso $-Q \times C_Q$	26,97	35,97	44,95	53,94
Altura con el líquido viscoso $-H \times C_H$	33,35	30,94	28,04	23,32
Rendimiento con líquido viscoso $- \eta \times C_\eta$	40,0	50,8	52,1	50,5
Gravedad específica del líquido	0,90	0,90	0,90	0,90
Potencia requerida por la bomba con el líquido viscoso	23,1	25,0	28,6	29,4

Limitaciones

- ★ Se debe usar en las escalas indicadas (sin extrapolar).
- ★ No se puede usar para mezclas de fluidos.
- ★ El NPSHd debe ser el adecuado para evitar los efectos de la cavitación.
- ★ Sólo para fluidos newtonianos.

Ejemplo. Bomba Sulzer

2.7.1.3 Determining a pump size for viscous liquids

Example:

Given: $Q_v = 125 \text{ m}^3/\text{h}$ $\nu_v = 75 \cdot \text{mm}^2/\text{s}$
 $H_v = 78 \text{ m}$ $\rho = 0.9 \text{ kg}/\text{dm}^3$

Required: Q_w, H_w, P_v to determine the power input

Indices: $\nu = \text{viscous liquid}$ $w = \text{water}$

From the diagram in Fig. 2.30 we take the following factors:

$c_Q = 0.98$ $c_\eta = 0.79$
 $c_H = 0.95$ for Q_{00} .

From this we obtain the values for pumping water:

$$Q_w = Q_v/c_Q = 125/0.98 = 127.5 \text{ m}^3/\text{h}$$
$$H_w = H_v/c_H = 78/0.95 = 82 \text{ m}$$

Using these values, the appropriate pump size is then selected: SULZER pump ZA 80-250/nq = 21 at 2950 rpm (Fig. 2.31).

If this pump has an efficiency of 74% at the duty point for water, when pumping a viscous liquid with $\nu_v = 75 \text{ mm}^2/\text{s}$, this is reduced as follows:

$$\eta_v = \eta_w \cdot c_\eta = 74\% \cdot 0.79 = 58.5\%$$

The power input to the pump is then:

$$P_v = \frac{Q_v \cdot H_v \cdot \rho_v}{367 \cdot \eta_v} = \frac{125 \cdot 78 \cdot 0.9}{367 \cdot 0.585} = 40.9 \text{ kW}$$

Check: with water of $\rho = 1 \text{ kg}/\text{dm}^3$ the power input is:

$$P_w = \frac{Q_w \cdot H_w \cdot \rho_w}{367 \cdot \eta_w} = \frac{127.5 \cdot 82 \cdot 1}{367 \cdot 0.74} = 38.5 \text{ kW}$$

In this example, the power input when pumping oil with a viscosity of $\nu_v = 75 \text{ mm}^2/\text{s}$ and $\rho_v = 0.9 \text{ kg}/\text{dm}^3$ is 6% more than for pumping water. For high viscosities, the pump supplier must verify the shaft strength.

2.7.1.4 Converting the throttle curves

If the throttle curve of a centrifugal pump is known for water and it is desired to determine the curve for viscous liquids, the values Q_{00} and H_{00} are first determined for the best efficiency point (subscript: 00). From this, $0.6 Q_{00}$, $0.8 Q_{00}$ and $1.2 Q_{00}$ are calculated, and the appropriate values for H and η from the pump characteristic (here the SULZER pump ZA 80-250, see broken curves in Fig. 2.32) are entered in Table II-1.

The Q and H values and the 12 correction factors corresponding to kinematic velocities are taken from Fig. 2.30.

The following correction factors result for the example taken above:

with $0.6 Q_{00}$:	$c_H = 0.97$	$c_Q = 0.98$	$c_\eta = 0.79$
with $0.8 Q_{00}$:	$c_H = 0.96$	$c_Q = 0.98$	$c_\eta = 0.79$
with $1.0 Q_{00}$:	$c_H = 0.95$	$c_Q = 0.98$	$c_\eta = 0.79$
with $1.2 Q_{00}$:	$c_H = 0.93$	$c_Q = 0.98$	$c_\eta = 0.79$

