

**Repaso de Mecánica de Fluidos**

Las transparencias son el material de apoyo del profesor para impartir la clase. No son apuntes de la asignatura. Al alumno le pueden servir como guía para recopilar información (libros, ...) y elaborar sus propios apuntes

**Departamento:** Ingeniería Eléctrica y Energética  
**Area:** Máquinas y Motores Térmicos

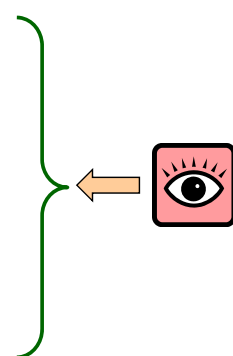
CARLOS J RENEDO [renedoc@unican.es](mailto:renedoc@unican.es)  
 Despachos: ETSN 236 / ETSIIT S-3 28  
<http://personales.unican.es/renedoc/index.htm>  
 Tlfn: ETSN 942 20 13 44 / ETSIIT 942 20 13 82

Peso,  $W$  (es una fuerza): (masa . gravedad) [Newton = kg.m/s<sup>2</sup>]  
 $k_f = 1 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 = 9,8 \text{ N}$

Densidad,  $\rho$ : (masa / volumen) [kg/m<sup>3</sup>]

Densidad relativa,  $\rho_R$ :  $\rho_R = \frac{\rho}{\rho_{H_2O}}$

Peso específico,  $\gamma$ : (peso/volumen)[N/m<sup>3</sup>]  $\gamma = \frac{W}{Vol} = \frac{M \cdot g}{Vol} = \rho \cdot g$



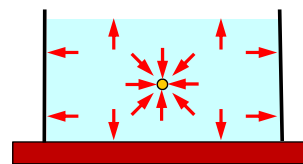
La Fuerza es una magnitud vectorial, y cuando se aplica a un cuerpo, se puede descomponer en una componente perpendicular y otra normal al cuerpo.

- **Componente normal** (perpendicular)
- **Componente cortante** (tangencial)

Esfuerzo cortante,  $\tau$ , es la fuerza tangencial dividida entre el área, (N/m<sup>2</sup>)

Presión, Pascal: (F / Superficie) [N/m<sup>2</sup>]

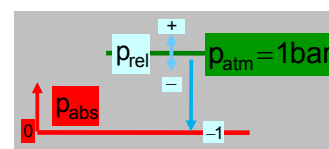
- En el interior del fluido se transmite igual en todas las direcciones
- Se ejerce perpendicularmente a las superficies que lo contienen



**Tipos de Presión:**

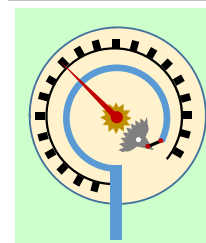
- **Atmosférica;**  $p_{atm}$  (nivel del mar y 0°C) = 1,013 bar
- **Absoluta;**  $p_{abs}$  (>0)
- **Relativa;**  $p_{rel}$  (>-1bar; si <0 P de vacío)

$$p_{abs} = p_{atm} + p_{rel}$$

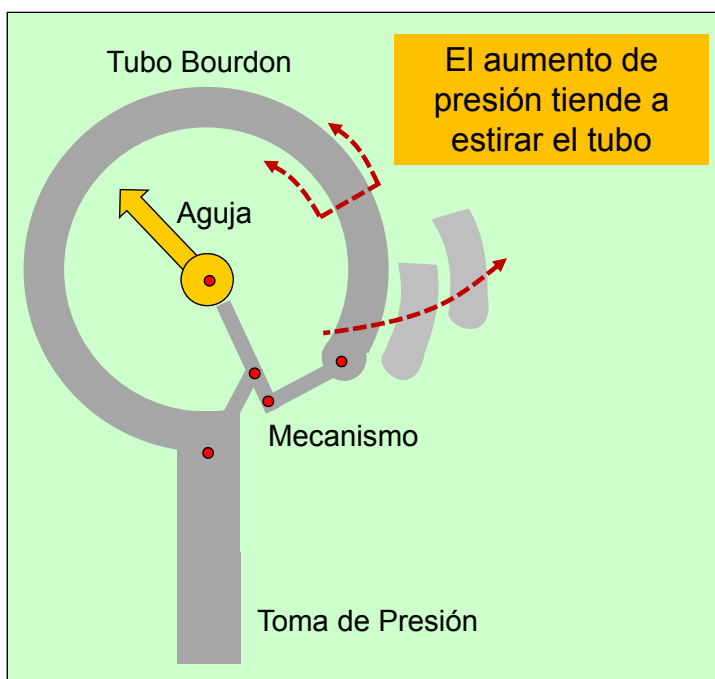


**Medida de la Presión:**

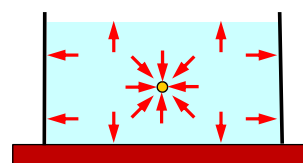
- **Manómetros:** P relativas positivas
- **Vacuómetros:** P relativas negativas



Presión, Pascal: (F / Superficie) [N/m<sup>2</sup>]

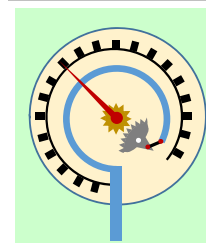
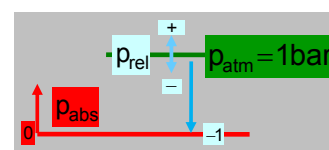


igual en  
superficies



1,013 bar

$$p_{abs} = p_{atm} + p_{rel}$$

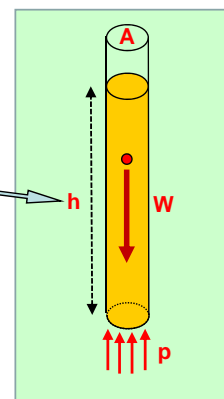


### Ecuación General de la Hidrostática

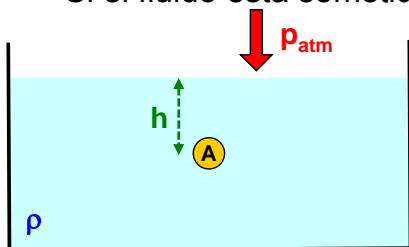
Presión de una columna de fluido

$$p = \frac{F}{A} = \frac{W}{A} = \frac{\text{Masa} \cdot g}{A} = \frac{(\rho \cdot V) \cdot g}{A} = \frac{\rho \cdot (h \cdot A) \cdot g}{A} = \rho \cdot g \cdot h = \gamma \cdot h$$

$$p = \rho \cdot g \cdot h \begin{cases} 1 \text{ m.c.a. } (\rho = 1.000 \text{ kg/m}^3) = 9.800 \text{ Pa} \\ 1 \text{ m.c.Hg } (\rho = 13.600 \text{ kg/m}^3) = 133.280 \text{ Pa} \end{cases}$$

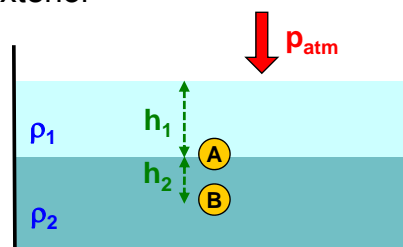


• Si el fluido está sometido a una presión exterior



$$p_{\text{rel A}} = \rho \cdot g \cdot h$$

$$p_{\text{abs A}} = p_{\text{atm}} + \rho \cdot g \cdot h$$



$$p_{\text{rel B}} = p_{\text{rel A}} + \rho_2 \cdot g \cdot h_2$$

$$p_{\text{abs B}} = p_{\text{abs A}} + \rho_2 \cdot g \cdot h_2$$

$$p_{\text{rel B}} = \rho_1 \cdot g \cdot h_1 + \rho_2 \cdot g \cdot h_2$$

$$p_{\text{abs B}} = (p_{\text{atm}} + \rho_1 \cdot g \cdot h_1) + \rho_2 \cdot g \cdot h_2$$

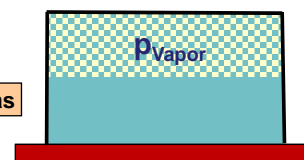
### Presión de vapor; $f(T)$

Es la presión originada por el vapor del líquido en la atmósfera que le rodea

El fluido se evapora hasta que el vapor alcanza la presión de vapor

Agua	20°C	0,02337 bar
	100°C	1,013 bar

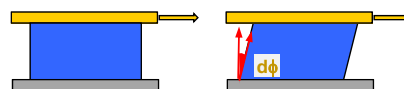
P absolutas



### Cavitación, $f(P, T)$

Evaporación del líquido cuando la P es inferior a la P\_vapor

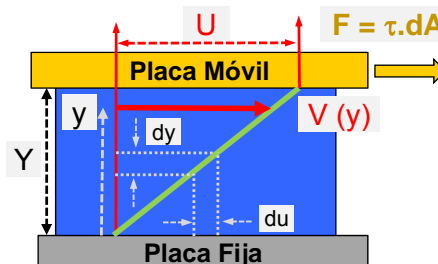
**Viscosidad** es la resistencia a fluir, a la velocidad de deformación



Fluidos Newtonianos;  $f(T)$

$$F = \tau \cdot A = \text{cte} \cdot \frac{A \cdot U}{y} = \text{cte} \cdot \frac{A \cdot dV}{dy}$$

$$\frac{F}{A} = \tau = \text{cte} \cdot \frac{U}{y} = \text{cte} \cdot \frac{dV}{dy}$$



• V. Dinámica,  $\mu$  [ Pa s ]:

$$\tau = \mu \cdot \frac{dV}{dy}$$

Agua	$10^{-3}$ Pa s
Aire	$1,8 \cdot 10^{-5}$ Pa s

- Líquidos  $\mu \downarrow$  al  $T^a$
- Gas  $\mu$  al  $T^a$

$$\frac{N/m^2}{(m/s)/m} = \frac{Pa}{1/s} = Pa \cdot s$$

• V. Cinemática,  $\nu$  [m<sup>2</sup>/s]:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{\mu}{\gamma/g} = \frac{\mu \cdot g}{\gamma}$$

Agua	$1,1 \cdot 10^{-6}$ m <sup>2</sup> /s
Aire	$1,51 \cdot 10^{-5}$ m <sup>2</sup> /s

$$\frac{Pa \cdot s}{kg/m^3} = \frac{[N/m^2] \cdot s}{kg/m^3} = \frac{[(kg \cdot m/s^2)/m^2] \cdot s}{kg/m^3} = \frac{kg \cdot m \cdot s / (m^2 \cdot s^2)}{kg/m^3} = \frac{kg / (m \cdot s)}{kg/m^3} = m^2 / s$$

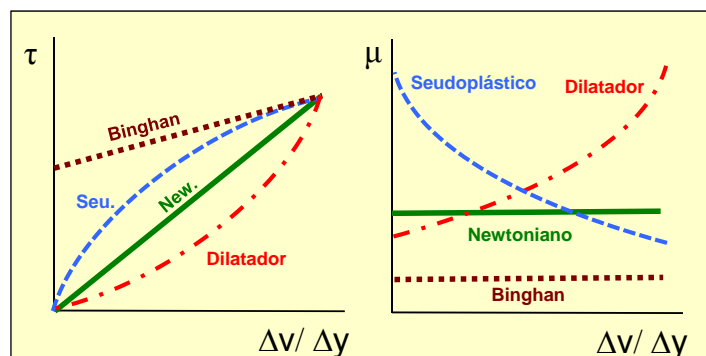
Existen otras unidades de viscosidad

Sistema C.G.S. {  
• Poise: 1.000 cPoise = 1 Pa s  
• Stoke: 10.000 Stokes = 1 m<sup>2</sup>/s

- °E (viscosímetro Engler)
- SAE (Soc. Auto. Eng.)
- Segundos Redwood
- Segundos Saybolt

Indice de viscosidad (I.V.): relaciona  $(\Delta\mu / \Delta T^a)$   
si I.V.  $\uparrow$  la influencia de  $T^a$  en  $\mu \downarrow$

Fluidos no Newtonianos:  
 $f(T, dv/dy, t)$



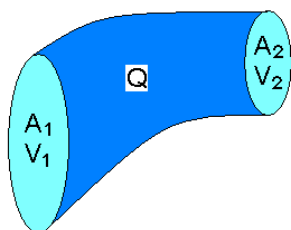
Caudal volumétrico,  $Q$  [ $m^3/s$ ]  $Q = A \cdot V$

Peso de un flujo,  $W$  [ $N/s$ ]  $W = \gamma \cdot Q$       Peso [ $N$ ]  $w = W \cdot t = \gamma \text{ Vol}$

Masa de un flujo, caudal másico,  $M$  [ $kg/s$ ]  $M = \rho \cdot Q$

$\gamma$  es el peso específico ( $N/m^3$ )  
 $\rho$  es la densidad ( $kg/m^3$ )

Ec de la continuidad de un flujo



$$M_1 = M_2 \quad \rho_1 \cdot Q_1 = \rho_2 \cdot Q_2 \quad \rho_1 \cdot (A_1 \cdot V_1) = \rho_2 \cdot (A_2 \cdot V_2)$$

$$[g] \Rightarrow \gamma_1 \cdot A_1 \cdot V_1 = \gamma_2 \cdot A_2 \cdot V_2$$

Si el fluido es incompresible (Vol cte), y  $\gamma_1 = \gamma_2$

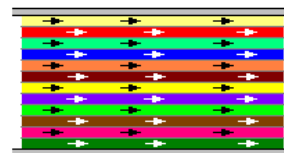
$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2$$

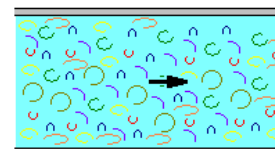
**Flujo laminar:** las partículas se mueven en direcciones paralelas formando capas o láminas, el fluido es uniforme y regular.

La viscosidad domina el movimiento del fluido, donde

$$\tau = \mu \cdot \frac{dv}{dy} \quad \left\{ \begin{array}{l} \tau \text{ es el cortante, } (=F/A) \\ \mu \text{ es la viscosidad dinámica (Pa.s)} \end{array} \right.$$



**Flujo turbulento** las partículas se mueven de forma desordenada en todas las direcciones; es imposible conocer la trayectoria individual de cada partícula



La caracterización del movimiento debe considerar los efectos de la viscosidad ( $\mu$ ) y de la turbulencia ( $\eta$ ); se hace con:

$$\tau = (\mu + \eta) \cdot \frac{dv}{dy}$$





$\eta$  depende de  $\rho$  y del movimiento

$$0 \leq \eta \leq 10.000\mu =$$

Se determina con resultados experimentales

¿Flujo laminar o turbulento? **Reynolds**,  $Re$   $Re = \frac{v \cdot L_c}{\nu}$   $\left[ \frac{m/s \cdot m}{m^2/s} \right]$

$\left\{ \begin{array}{l} v \text{ es la velocidad (m/s)} \\ \nu \text{ es la viscosidad cinemática (m}^2\text{/s)} \end{array} \right.$   
 $\left\{ \begin{array}{l} L_c \text{ es la longitud característica} \\ \left\{ \begin{array}{l} \text{Para el interior de una tubería circular es el diámetro} \\ \text{Para una sección que no es circular } L_c = 4 \cdot D_H \\ [D_H = \text{Area del flujo} / \text{Perímetro mojado}] \end{array} \right. \end{array} \right.$

Circular radio $R$	$D_H = \frac{\pi \cdot R^2}{2 \cdot \pi \cdot R} = \frac{R}{2}$	$L_c = 4 \cdot \frac{R}{2} = 2 \cdot R = D$	
Cuadrado lado $L$ :	$D_H = \frac{L^2}{4 \cdot L} = \frac{L}{4}$	$L_c = 4 \cdot \frac{L}{4} = L$	
Rectángulo lados $a$ y $b$	$D_H = \frac{a \cdot b}{2 \cdot (a + b)}$	$L_c = \frac{2 \cdot a \cdot b}{(a + b)}$	
Sección circular $r_i$ y $r_e$	$D_H = \frac{\pi \cdot (r_e^2 - r_i^2)}{2 \cdot \pi \cdot (r_i + r_e)} = \frac{(r_e^2 - r_i^2)}{2 \cdot (r_i + r_e)}$	$L_c = \frac{2 \cdot (r_e^2 - r_i^2)}{(r_i + r_e)}$	

En conductos:  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Si } Re < 2.000 \text{ flujo laminar} \\ \text{Si } Re > 4.000 \text{ flujo turbulento} \end{array} \right.$

$$Re_{\text{Crítico}} = 2.000 \Rightarrow V_{\text{Crítica}}$$

Determinar la velocidad crítica en una tubería de 20 mm de diámetro para:

- a) gasolina a 20°C,  $\nu = 6,48 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2\text{/s}$   
 b) agua a 20°C,  $\nu = 1,02 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2\text{/s}$

La ecuación de Darcy marca las pérdidas por fricción,  $H_L$ , tanto en régimen laminar como turbulento

$$H_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \text{ (m)}$$

$f$  ( $\lambda$ ) el factor de fricción  
 $L$  es la longitud de una tubería  
 $v$  la velocidad  
 $D$  el diámetro de la tubería  
 $g$  la gravedad

Conducto no circular:  $L_c$

Flujo laminar:

$$f = \frac{64}{Re}$$

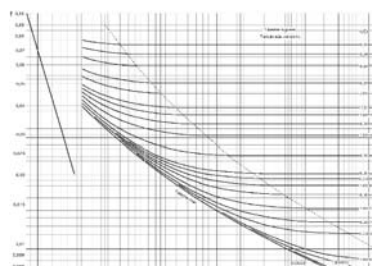
$$H_L = \frac{32 \cdot \mu \cdot L \cdot v}{\gamma \cdot D^2} \text{ (m)}$$

Flujo turbulento:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left[ \frac{\varepsilon}{3,7 \cdot D} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right]$$

$\{ \varepsilon$  la rugosidad de la tubería

Diagrama de Moody



La ecuación de Darcy marca las pérdidas por fricción,  $H_L$ , tanto en régimen laminar como turbulento

$$H_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \text{ (m)}$$

En tuberías circulares:

$$H = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\left( \frac{Q}{\pi \cdot (D/2)^2} \right)^2}{2 \cdot g} = f \cdot \frac{L}{D^5} \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g}$$

Conducto no circular:  $L_c$

Flujo laminar:

$$f = \frac{64}{Re}$$

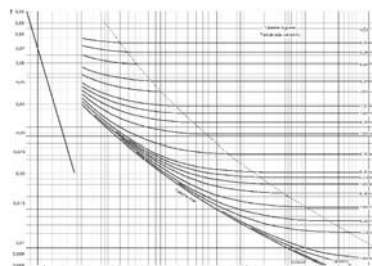
$$H_L = \frac{32 \cdot \mu \cdot L \cdot v}{\gamma \cdot D^2} \text{ (m)}$$

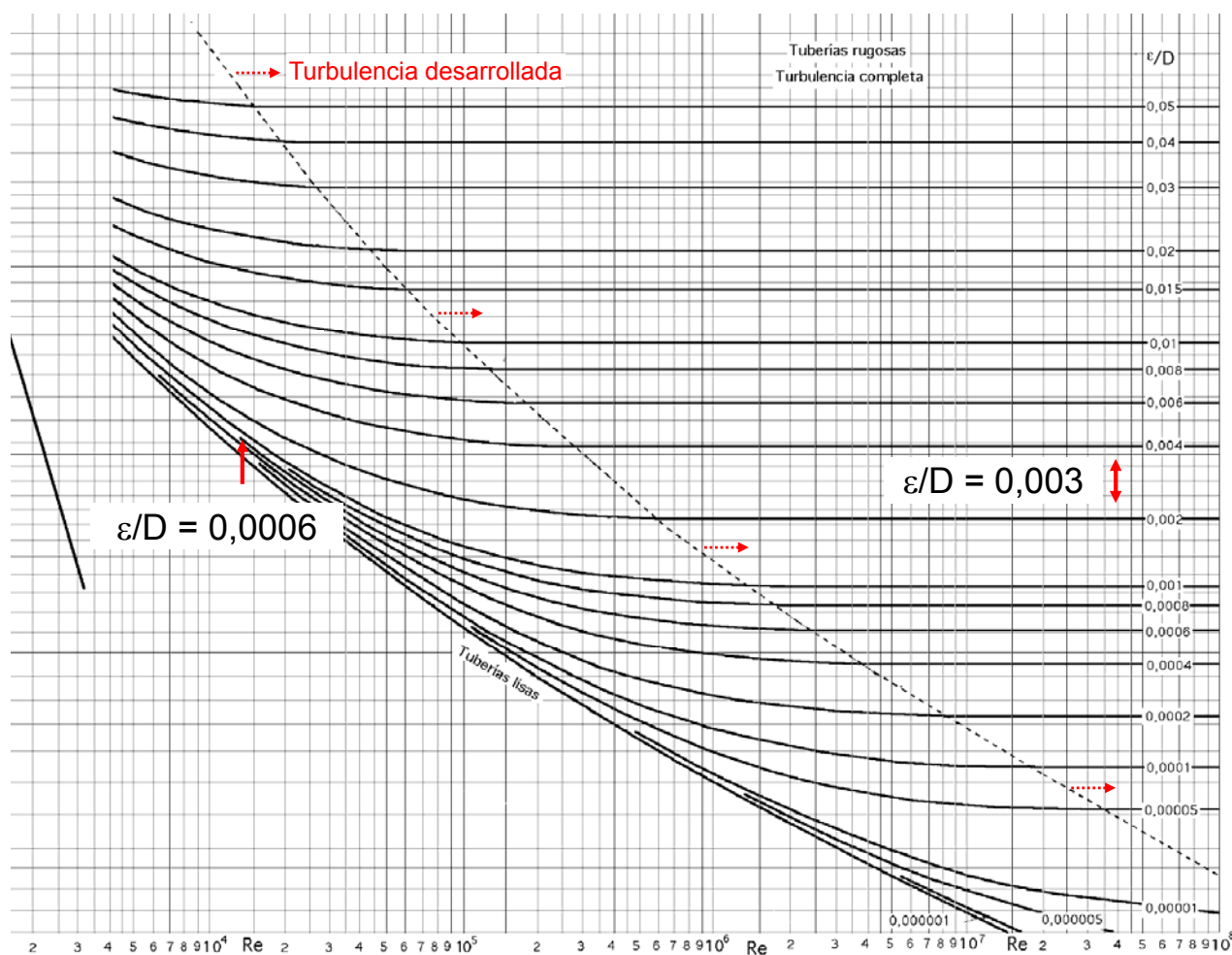
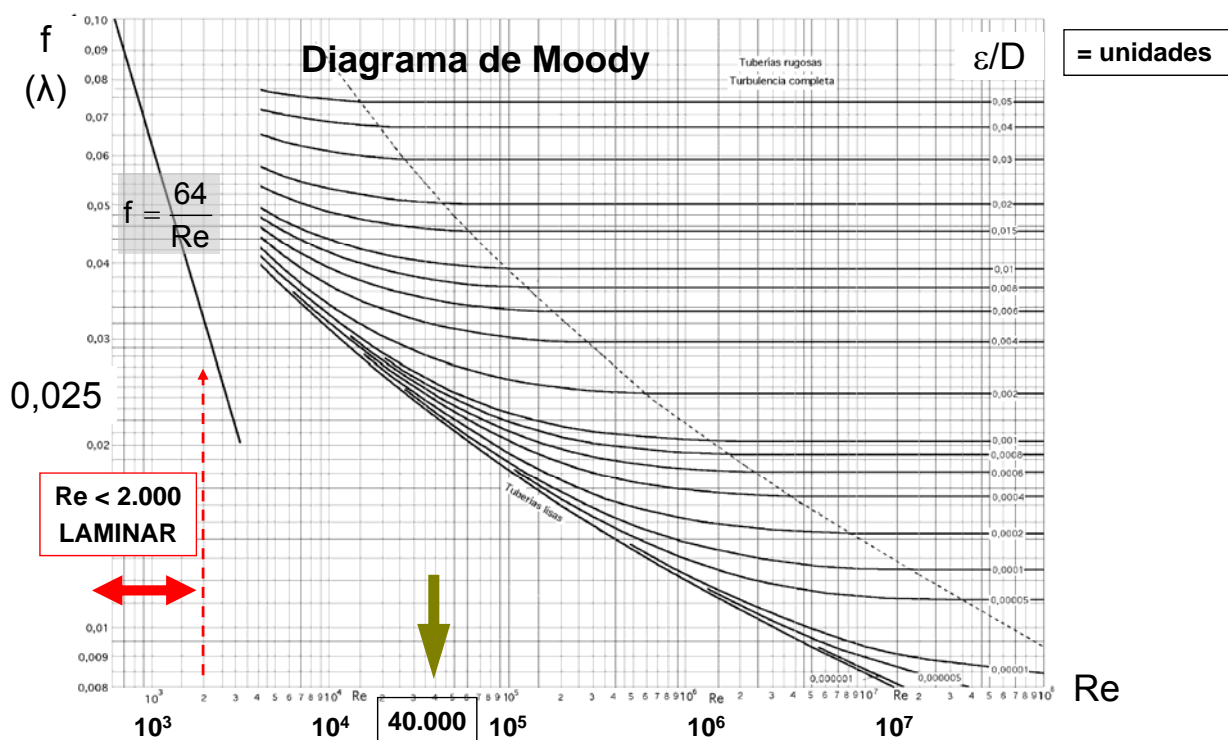
Flujo turbulento:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left[ \frac{\varepsilon}{3,7 \cdot D} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right]$$

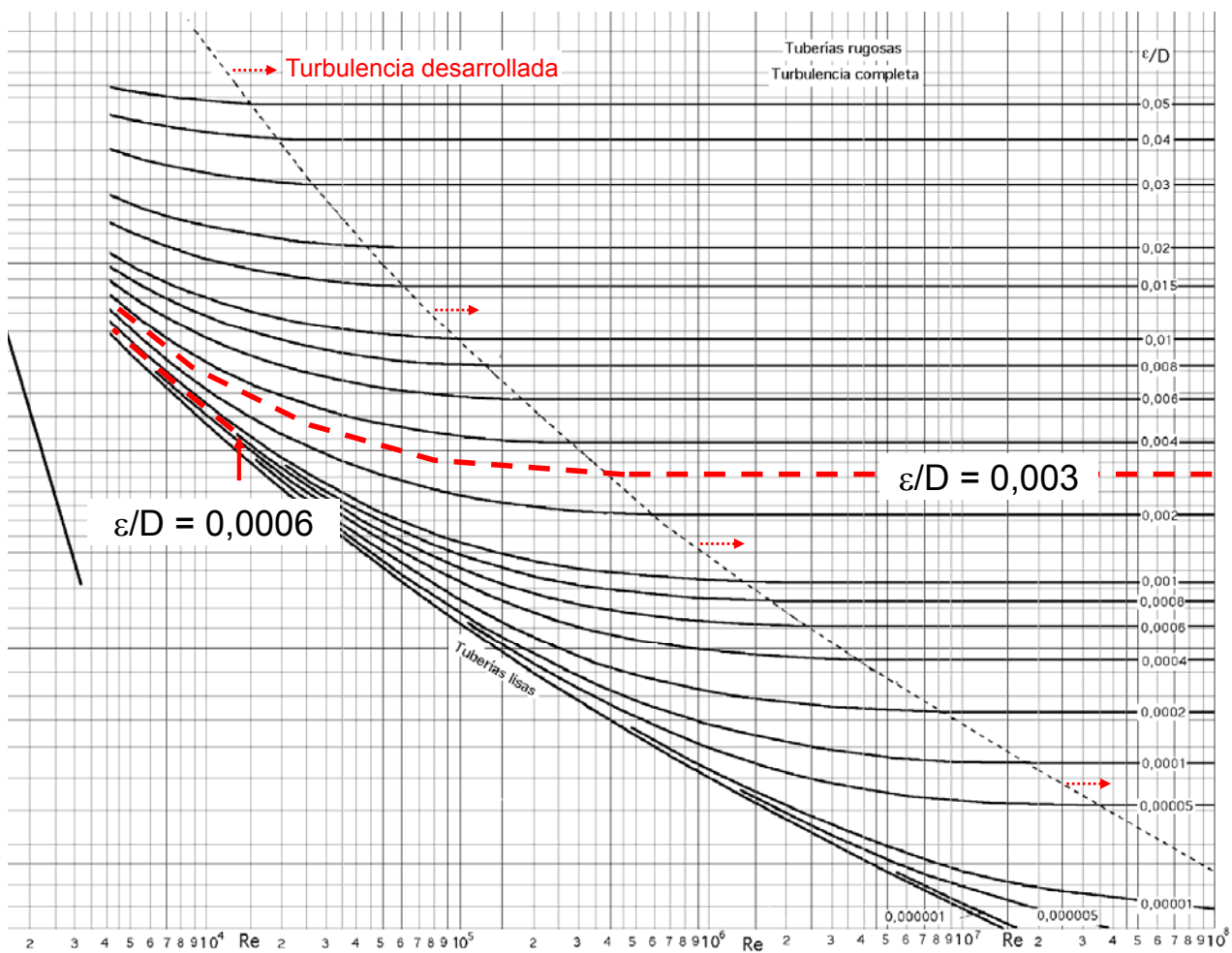
$\{ \varepsilon$  la rugosidad de la tubería

Diagrama de Moody









## MASTER INGENIERÍA MARINA

### Generación, Transporte y Distribución de Energía



Salida de depósito	A ras de pared	$0,5 \frac{V_2^2}{2g}$
	Tubería entrante	$\frac{V_2^2}{2g}$
	Tubería abocinada	$0,05 \frac{V_2^2}{2g}$
Entrada a depósito		$\frac{V_1^2}{2g}$
Ensanchamiento brusco		$\frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$

Ensanchamiento gradual	$K_c \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$	
Vénturis, boquillas y orificios	$\left( \frac{1}{c_v^2} - 1 \right) \frac{V_2^2}{2g}$	
Contracción brusca	$K_c \frac{V_2^2}{2g}$	
Codos, accesorios, válvulas	$K \frac{V^2}{2g}$	
Codos 45°		0,4
Codos 90° Tees		0,62 1,75

Contracción brusca	
$d_1/d_2$	$K_c$
1,2	0,08
1,4	0,17
1,6	0,26
1,8	0,34
2	0,37
2,5	0,41
3	0,43
4	0,45
5	0,46

Ensanchamiento gradual para un ángulo total del cono						
4°	10°	15°	20°	30°	50°	60°
0,02	0,04	0,09	0,16	0,25	0,35	0,37
0,03	0,06	0,12	0,23	0,36	0,5	0,53
0,03	0,07	0,14	0,26	0,42	0,57	0,61
0,04	0,07	0,15	0,28	0,44	0,61	0,65
0,04	0,07	0,16	0,29	0,46	0,63	0,68
0,04	0,08	0,16	0,3	0,48	0,65	0,7
0,04	0,08	0,16	0,31	0,48	0,66	0,71
0,04	0,08	0,16	0,31	0,49	0,67	0,72
0,04	0,08	0,16	0,31	0,5	0,67	0,72

$$H_L = K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \text{ (m)}$$

$$K = f_{\text{tubo}} \cdot \frac{L_e}{D}$$

		$L_e / D$
Válvula de globo abierta		340
Válvula de ángulo abierta		150
Válvula de compuerta	abierta	8
	75% a	35
	50% a	180
	25% a	900
Válvula de bola abierta		150
Válvula de mariposa abierta		45

		$L_e / D$
Codo 90°		30
Codo 90° (gran radio)		20
Codo 90° de calle		50
Codo de 45°		16
Codo de 45° de calle		25
T, flujo en el tramo		20
T, flujo en rama		60

Nº de veces que el accesorio equivale en longitud a su diámetro

**Longitud equivalente  $L_{eq}$**   
(en Tablas y ábacos)

$$L_{eq\_tub} = L_{tub} + L_{eq\_accesorios}$$

$$H_L = f \cdot \frac{L_{eq\_Tub}}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \text{ (m)}$$

Accesorio	Leq / D
<b>Codo 45°</b>	<b>15</b>
<b>Codo 90° (radio standar)</b>	<b>32</b>
<b>Codo 90° (radio mediano)</b>	<b>26</b>
<b>Codo 90° (radio grande)</b>	<b>20</b>
<b>Angulo 90° (escuadra)</b>	<b>60</b>
<b>Codo 180°</b>	<b>75</b>
<b>Codo 180° (radio mediano)</b>	<b>50</b>
<b>TE (usada como codo, entrada por parte recta)</b>	<b>60</b>
<b>TE (usada como codo, entrada por derivación)</b>	<b>90</b>
<b>Válvula de compuerta (abierta)</b>	<b>7</b>
<b>Válvula de asiento (abierta)</b>	<b>300</b>
<b>Válvula angular (abierta)</b>	<b>170</b>
<b>Válvula de esfera (abierta)</b>	<b>3</b>

ABACO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PERDIDAS DE CARGA EN ACCESORIOS  
en metros de longitud de tubería equivalente

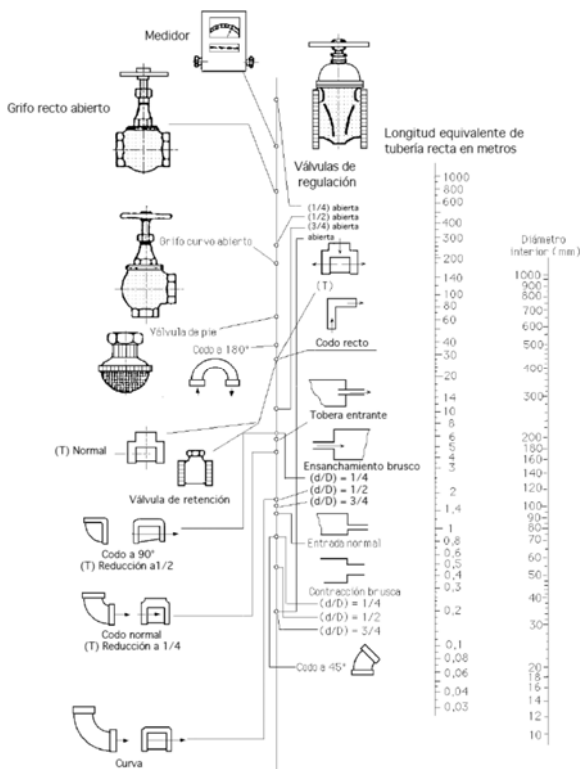
**Longitud equivalente  $L_{eq}$**   
(en Tablas y ábacos)

$$L_{eq\_tub} = L_{tub} + L_{eq\_accesorios}$$

$$H_L = f \cdot \frac{L_{eq\_Tub}}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \text{ (m)}$$

Ej: Codo 180°,  $\varnothing_i = 30 \text{ mm}$

Tablas del coeficiente de pérdida  
en: Redes Industriales de Tubería,  
A. Luszczewski, Ed Reverté



**Longitud equivalente  $L_{eq}$**   
(en Tablas y ábacos)

$$L_{eq\_tub} = L_{tub} + L_{eq\_accesorios}$$

$$H_L = f \cdot \frac{L_{eq\_Tub}}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \text{ (m)}$$



Tubería de  $\varnothing_i = 30 \text{ mm}$ , 10 m y un codo de 180°  
tiene las mismas pérdidas de carga ( $H_L$ ) que otra  
tubería de  $\varnothing_i = 30 \text{ mm}$  y 11,4 m

$$L_{eq\_tub} = L_{tub} + L_{eq\_accesorios}$$

$$H_L = f \cdot \frac{L_{eq\_Tub}}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \text{ (m)}$$

$$H_L = cte \cdot v^2 \text{ (m)}$$

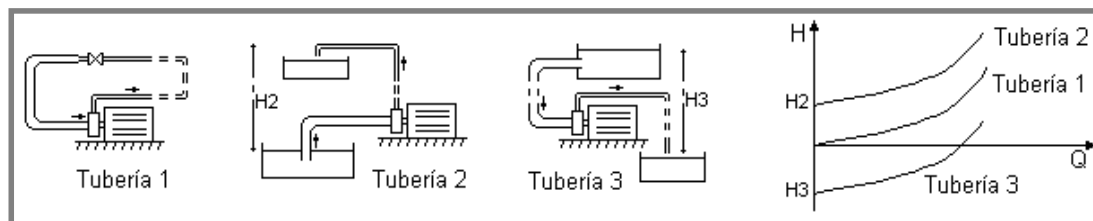
$$cte = f \cdot \frac{L_{eq\_Tub}}{D} \cdot \frac{1}{2 \cdot g}$$

$$cte_2 = f \cdot \frac{L_{eq\_Tub}}{D}$$

$$cte = cte_2 \cdot \frac{1}{2 \cdot g}$$

- Ec. Tubería en circuito cerrado o tubería sin cota de elevación:  $H_L = cte \cdot v^2 \text{ (m)}$
- Ec. Tubería de elevación:  $H_L = H_{elevación} + cte \cdot v^2 \text{ (m)}$
- Ec. Tubería de evacuación:  $H_L = cte \cdot v^2 - H_{evacuación} \text{ (m)}$

$$H_L = cte_2 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \text{ (m)}$$



Un caudal de 44 l/s de aceite de viscosidad absoluta 0,101 N.s/m<sup>2</sup> y densidad relativa 0,850 está circulando por una tubería de fundición de 30 cm de diámetro, rugosidad de 0,05 mm y 3.000 m de longitud. ¿Cuál es la pérdida de carga?

Un caudal de **440** l/s de aceite de viscosidad absoluta  $0,101 \text{ N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$  y densidad relativa  $0,850$  está circulando por una tubería de fundición de  $30 \text{ cm}$  de diámetro, rugosidad de  $0,05 \text{ mm}$  y  $3.000 \text{ m}$  de longitud. ¿Cuál es la pérdida de carga?