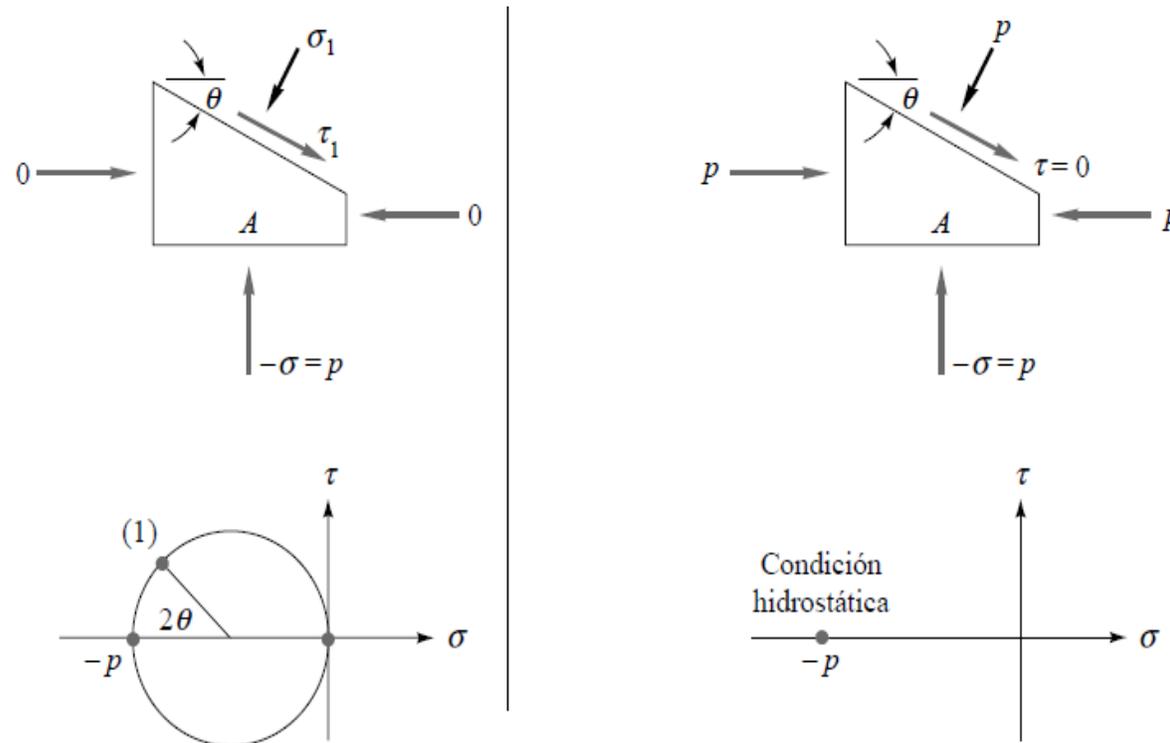


# PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DE UN FLUIDO

**Presión:** La presión es el esfuerzo (de compresión) en un punto en un fluido en reposo. Después de la velocidad, la presión  $p$  es la variable más significativa en la dinámica de un fluido.



# PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DE UN FLUIDO

**La temperatura  $T$ :** está relacionada con el nivel de energía interna del fluido. Puede variar considerablemente durante el flujo compresible de un gas.

$$^{\circ}\text{R} = ^{\circ}\text{F} + 459,69$$

$$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,16$$

**La densidad  $\rho$**  (rho griega minúscula): de un fluido, denominada es su masa por unidad de volumen. La densidad varía mucho en los gases, aumentando casi de forma proporcional a la presión.

Agua: (alrededor de 1000 kg/m<sup>3</sup>)

Mercurio:  $\rho = 13.580 \text{ kg/m}^3$

Hidrógeno:  $\rho = 0,0838 \text{ kg/m}^3$

# PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DE UN FLUIDO

***La densidad relativa o peso específico:*** , denominada  $S$ , es la relación entre la densidad del fluido y la de un fluido estándar de referencia, típicamente el agua a 4 °C (para los líquidos) y el aire (para los gases):

$$S_{\text{gas}} = \frac{\rho_{\text{gas}}}{\rho_{\text{aire}}} = \frac{\rho_{\text{gas}}}{1205 \text{ kg/m}^3}$$

$$S_{\text{líquido}} = \frac{\rho_{\text{líquido}}}{\rho_{\text{agua}}} = \frac{\rho_{\text{líquido}}}{1000 \text{ kg/m}^3}$$

# PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DE UN FLUIDO

- **Energías potencial y cinética:** En termostática, la única energía asociada a una sustancia es la almacenada en el sistema por la actividad molecular y las fuerzas asociadas a los enlaces químicos. A ésta se le denomina energía interna  $\hat{u}$ . En los flujos, a esta energía se le deben añadir dos términos más, procedentes de la mecánica newtoniana: la energía potencial y la energía cinética.

$$e = \hat{u} + \frac{1}{2}V^2 + (-\mathbf{g} \cdot \mathbf{r})$$

$$e = \hat{u} + \frac{1}{2}V^2 + gz$$

# PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DE UN FLUIDO

***Ecuaciones de estado para gases:*** Las propiedades termodinámicas se pueden relacionar entre sí, tanto teórica como experimentalmente, por medio de relaciones o ecuaciones de estado que varían de una sustancia a otra.

$$p = \rho RT \quad R = c_p - c_v = \text{constante del gas}$$

$$R_{\text{gas}} = \frac{0}{M_{\text{gas}}} \quad R_{\text{aire}} = \frac{49.700 \text{ ft} \times \text{lb}_f / (\text{slug mol} \times ^\circ\text{R})}{28,97 / \text{mol}} = 1716 \frac{\text{ft} \times \text{lb}_f}{\text{slug} \times ^\circ\text{R}} = 1716 \frac{\text{ft}^2}{\text{s}^2 \times ^\circ\text{R}} = 287 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2 \times \text{K}}$$

$$\rho_{\text{aire}} = \frac{2116 \text{ slug}/(\text{ft} \times \text{s}^2)}{[1716 \text{ ft}^2 / (\text{s}^2 \times ^\circ\text{R})](520^\circ\text{R})} = 0,00237 \text{ slug}/\text{ft}^3 = 1,22 \text{ kg}/\text{m}^3$$

# PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DE UN FLUIDO

**La energía interna molecular  $\hat{u}$  y la entalpía  $h$  de un gas perfecto:** varíe sólo con la temperatura:  $\hat{u} = \hat{u}(T)$ . Por tanto, el calor específico  $c_v$  y  $c_p$  también variarán sólo con la temperatura:

$$c_v = \left\{ \begin{array}{l} \textcircled{R} I \hat{u}^{\text{TM}} \\ \textcircled{C} I T \sum_{\leftrightarrow} \end{array} \right. = \frac{d\hat{u}}{dT} = c_v(T)$$

$$h = \hat{u} + \frac{P}{\rho} = \hat{u} + RT = h(T)$$

$$c_p = \left\{ \begin{array}{l} \textcircled{R} I h^{\text{TM}} \\ \textcircled{C} I T \sum_p \end{array} \right. = \frac{dh}{dT} = c_p(T)$$

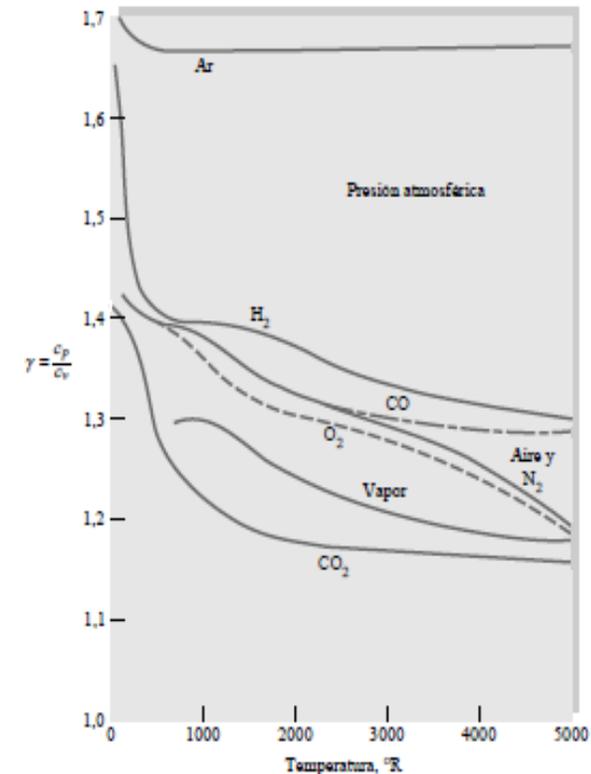
$$d\hat{u} = c_v(T)dT$$

$$dh = c_p(T)dT$$

~ aire P 1,4

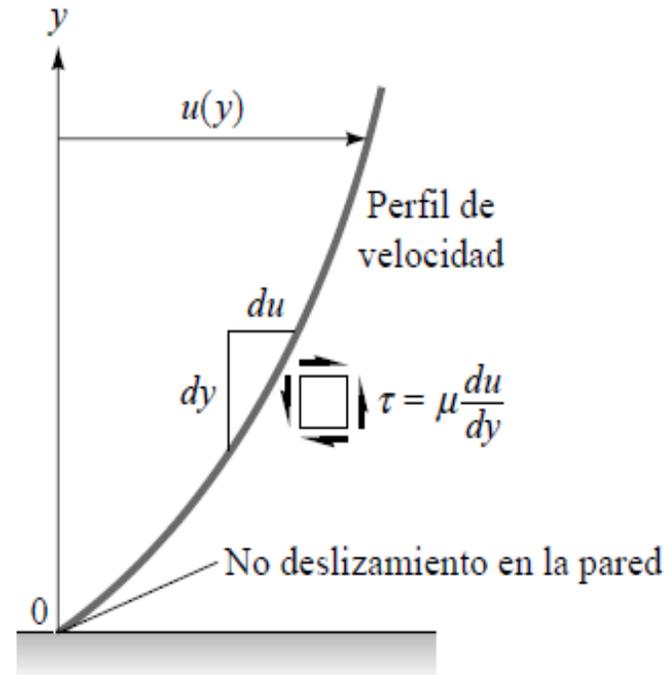
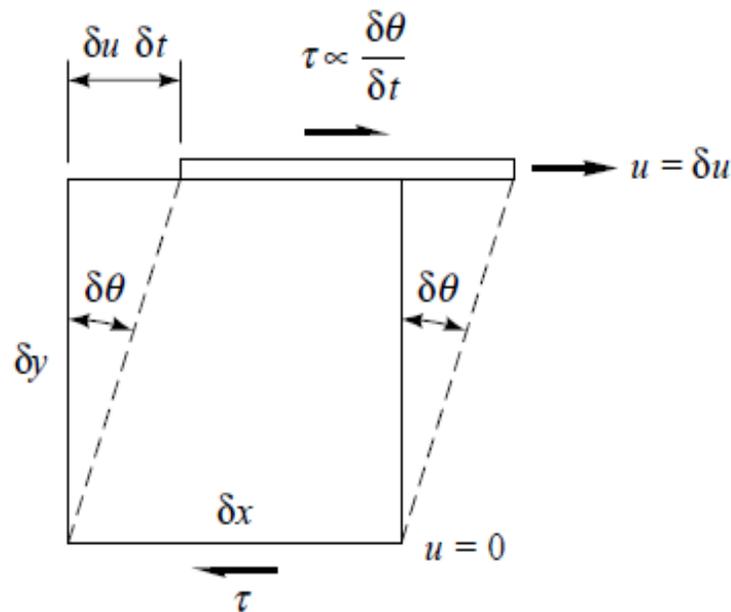
$$c_v = \frac{R}{\Psi_1} \text{ P } 4293 \text{ ft}^2/(\text{s}^2 \times \text{R}) = 718 \text{ m}^2/(\text{s}^2 \times \text{K})$$

$$c_p = \frac{\Psi R}{\Psi_1} \text{ P } 6010 \text{ ft}^2/(\text{s}^2 \times \text{R}) = 1005 \text{ m}^2/(\text{s}^2 \times \text{K})$$



# PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DE UN FLUIDO

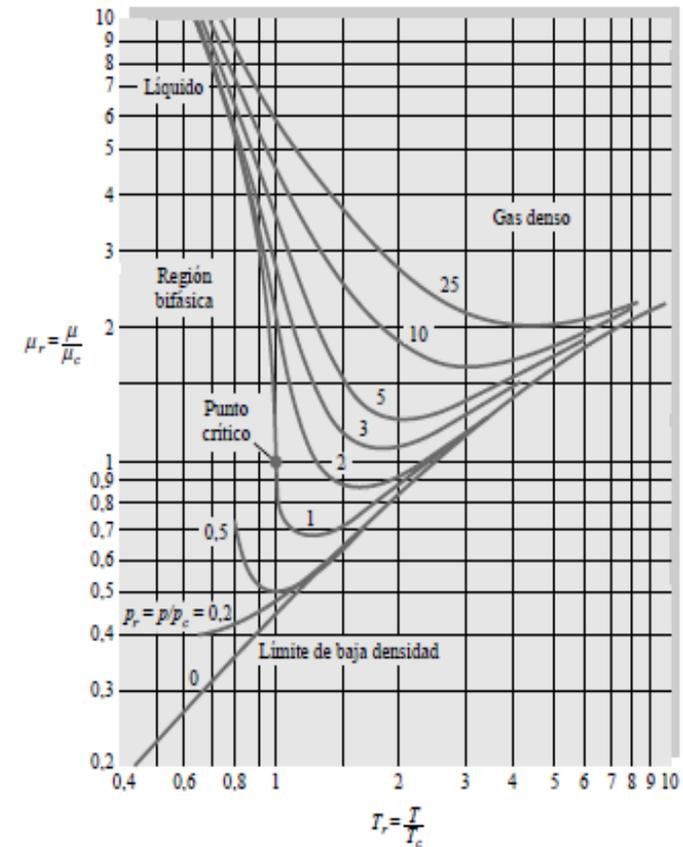
**VISCOSIDAD** : La viscosidad es una medida cuantitativa de la resistencia de un fluido a fluir. Más concretamente, la viscosidad determina la velocidad de deformación del fluido cuando se le aplica un esfuerzo cortante dado. Podemos movernos fácilmente a través del aire, que tiene una viscosidad muy baja



$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

# PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DE UN FLUIDO

Fluido	$\mu_s$ kg/(m · s) <sup>†</sup>	Relación $\mu/\mu(H_2)$	$\rho_s$ kg/m <sup>3</sup>	$v$ m <sup>2</sup> /s <sup>†</sup>	Relación $v/v(Hg)$
Hidrógeno	$8,8 \times 10^{-6}$	1,0	0,084	$1,05 \times 10^{-4}$	920
Aire	$1,8 \times 10^{-5}$	2,1	1,20	$1,51 \times 10^{-5}$	130
Gasolina	$2,9 \times 10^{-4}$	33	680	$4,22 \times 10^{-7}$	3,7
Agua	$1,0 \times 10^{-3}$	114	998	$1,01 \times 10^{-6}$	8,7
Alcohol etílico	$1,2 \times 10^{-3}$	135	789	$1,52 \times 10^{-6}$	13
Mercurio	$1,5 \times 10^{-3}$	170	13.580	$1,16 \times 10^{-7}$	1,0
Aceite SAE 30	0,29	33.000	891	$3,25 \times 10^{-4}$	2.850
Glicerina	1,5	170.000	1.264	$1,18 \times 10^{-3}$	10.300



# PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DE UN FLUIDO

**El número de Reynolds:** El parámetro primario que determina el comportamiento de los fluidos newtonianos es el número adimensional de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho V L}{\mu} = \frac{VL}{\nu} \quad \nu = \frac{\mu}{\rho}$$

**Flujo entre placas paralelas:** Un problema clásico es el flujo inducido entre una placa fija inferior y otra superior que se mueve con velocidad

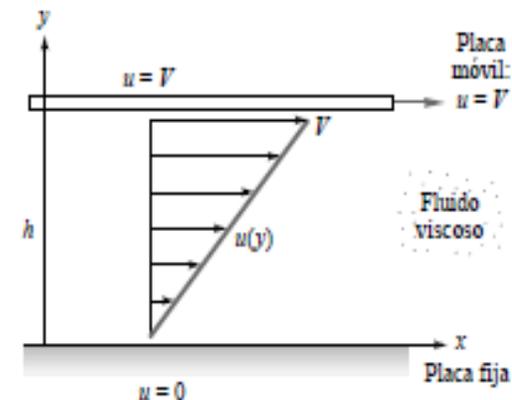
$V$ , como se muestra en la Figura:

$$\frac{du}{dy} = \frac{\tau}{\mu} = \text{cte}$$

$$u = \begin{cases} 0 = a + b(0) & \text{en } y = 0 \\ V = a + b(h) & \text{en } y = h \end{cases}$$

$$u = a + by$$

$$u = V \frac{y}{h}$$



# PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DE UN FLUIDO

**Variación de la viscosidad con la temperatura:** La temperatura tiene un efecto considerable sobre la viscosidad, pero la presión influye mucho menos. La viscosidad de los gases y de algunos líquidos aumenta lentamente con la presión.

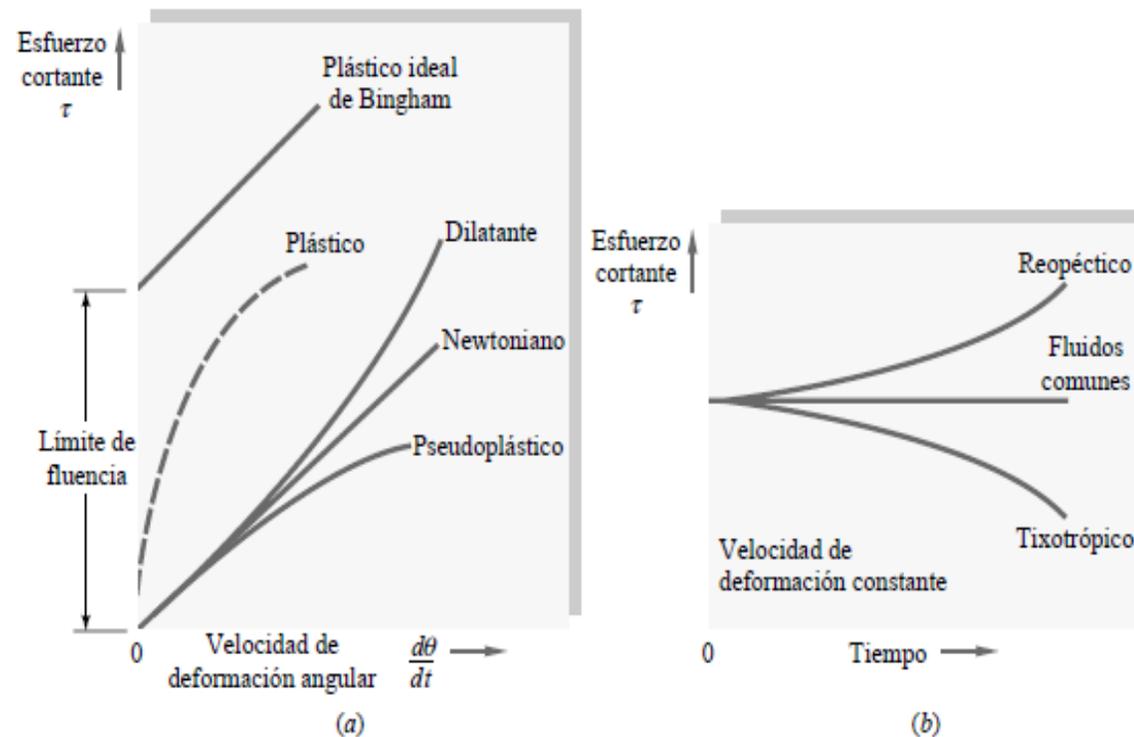
$$\frac{\mu}{\mu_0} \approx \begin{cases} \left( \frac{T}{T_0} \right)^n & \text{Ley potencial} \\ \frac{(T/T_0)^{3/2}(T_0 + S)}{T + S} & \text{Ley de Sutherland} \end{cases}$$

**Conductividad térmica:**  $k$  que relaciona el vector flujo de calor por unidad de área  $q$  con el vector gradiente de temperatura  $T$

$$q = -k \nabla T$$

# PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DE UN FLUIDO

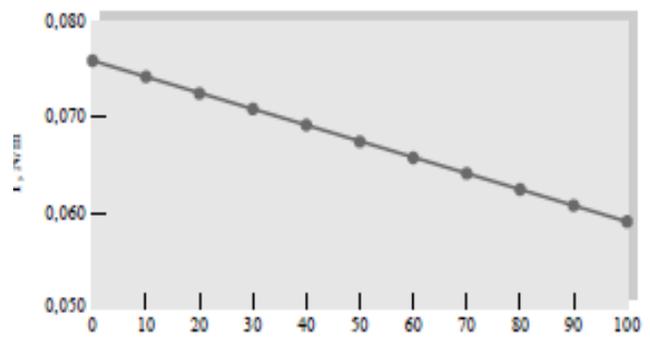
**Fluidos no newtonianos:** Los fluidos que no siguen la ley lineal de la Ecuación de viscosidad se denominan no newtonianos y se estudian en los libros de reología



# PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DE UN FLUIDO

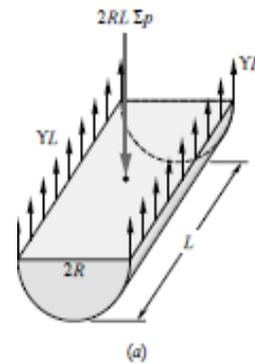
**Tensión superficial:** Un líquido, al no ser capaz de expansionarse libremente, formará una interfase con un segundo líquido o un gas. Las dos interfases más comunes son agua-aire y mercurio-aire. Para una superficie limpia a  $20\text{ }^{\circ}\text{C} = 68\text{ }^{\circ}\text{F}$ , las tensiones superficiales son:

$$\gamma = \begin{cases} 0,0050 \text{ lbf/ft} = 0,073 \text{ N/m} & \text{aire - agua} \\ 0,033 \text{ lbf/ft} = 0,48 \text{ N/m} & \text{aire - mercurio} \end{cases}$$



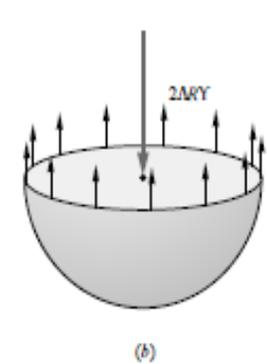
$$2RL \Sigma p = 2\gamma L$$

$$\Sigma p = \frac{\gamma}{R}$$



$$AR^2 \Sigma p = 2AR\gamma$$

$$\Sigma p = \frac{2\gamma}{R}$$



$$\Sigma p_{\text{burbuja}} = 2 \Sigma p_{\text{gota}} = \frac{4\gamma}{R}$$

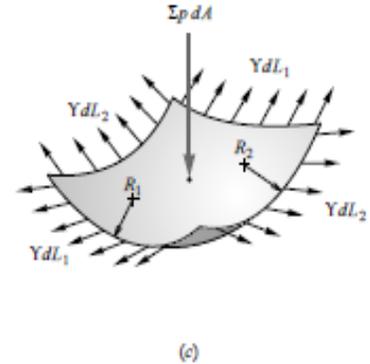


Figura 1.9. Aumento de presión a través de una interfase cuando un efecto de la tensión superficial (a) en el interior de un...

# PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DE UN FLUIDO

**Presión de vapor:** La presión de vapor es la presión a la que un líquido hierve y está en equilibrio con su propio vapor. Por ejemplo, la presión de vapor del agua a 20 °C es 2337 Pa, mientras que la del mercurio es 0,168 Pa

$$Ca = \frac{p_a \Psi p_v}{\frac{1}{2} \rho V^2}$$

donde  $p_a$  = presión ambiente  
 $p_v$  = presión de vapor  
 $V$  = velocidad característica

