

1 PRACTICA # 1 PROPIEDADES FISICAS DE LOS FLUIDOS

1.1 DENSIDAD

Es una propiedad intensiva que se define como la masa (m) por unidad de volumen (V), y es denotada con la letra " ρ ", donde:

$$\rho = \frac{\text{masa de la sustancia}}{\text{volumen ocupado por la masa}} = \frac{m}{V} \quad [M L^{-3}]$$

Las unidades de densidad son kilogramos por metro cúbico en el Sistema Internacional (SI) y slugs por pie cúbico en el Sistema Británico de Unidades.

1.2 PESO ESPECÍFICO

Es la fuerza gravitacional o peso por unidad de volumen de fluido y se representa por el símbolo " γ ", donde:

$$\gamma = \frac{\text{peso de la sustancia}}{\text{volumen ocupado por la masa}} = \frac{m g}{V} \quad [M T^{-2} L^{-2}]$$

Las unidades del peso específico son Newtons por metro cúbico (N/m^3) en el SI y libra fuerza por pie cúbico (lbf/pe^3) en el Sistema Británico de Unidades.

1.3 DENSIDAD RELATIVA O GRAVEDAD ESPECÍFICA

La densidad relativa o gravedad específica de un líquido es la razón del peso específico o de la densidad del líquido dado al peso específico o densidad del agua a una temperatura estándar. Por lo tanto es una cantidad adimensional y se denota con el símbolo "S", donde:

$$S = \frac{\text{densidad de la sustancia}}{\text{densidad del agua}} = \frac{\rho_s}{\rho_a} \quad [1]$$

1.4 MEDICIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA

La medición de la densidad relativa (S) se realiza mediante un instrumento conocido como hidrómetro.

El hidrómetro usa el principio de la fuerza de flotación para determinar las densidades relativas de los líquidos. Un hidrómetro simple puede ser construido con la utilización de un tubo de vidrio cerrado en el fondo, el cual es llenado con municiones de plomo, arena o mercurio y un papel cuadriculado en su interior.

Primero, se sumerge el tubo con área transversal A en agua con densidad ρ_w y se marca sobre el papel la longitud de inmersión L_w , luego se sumerge en otro líquido con densidad ρ_s para el cual se marca la longitud de inmersión L_s .

La densidad del líquido viene dado por:

$$\rho_s = S \rho_w$$

El peso del agua desplazada viene dada por:

$$P_w = \rho_w g A L_w$$

Y peso del líquido desplazado viene dada por

$$P_s = \rho_s g A L_s = S \rho_w g A L_s$$

Como el hidrómetro utiliza el principio de Arquímedes y para condiciones de equilibrio, el peso del tubo más el fluido dentro del tubo P_A se equilibra al empuje ejercido por ambos fluidos:

$$P_{Tubo} + P_A = P_w$$

$$P_{Tubo} + P_A = P_s$$

Considerando como aire el fluido dentro del tubo, entonces su peso se puede considerar despreciable, y como se considera constante el peso del tubo, se obtiene:

$$P_W = P_S$$

$$\rho_W g A L_W = S \rho_W g A L_S$$

$$\text{Por lo cual, } S = \frac{L_W}{L_S}$$

La Figura 1 muestra un hidrómetro en dos líquidos. Con un vástago de sección transversal prismática A. Si el líquido de la izquierda es agua destilada, $S = 1$, entonces, en equilibrio se cumple:

$$V_o \gamma_W = P_{\text{Hidrómetro}}$$

donde V_o es el volumen sumergido y γ_W es el peso específico del agua. La posición de la superficie líquida está marcada con el valor de 1.00 en el vástago para indicar la unidad de gravedad específica S. Cuando el hidrómetro flota en otro líquido, la ecuación se vuelve

$$(V_o - \Delta V) S \gamma_W = P_{\text{Hidrómetro}}$$

donde $\Delta V = A \Delta h$. Igualando $P_{\text{Hidrómetro}}$ y despejando Δh de las ecuaciones anteriores:

$$\Delta h = \frac{V_o}{A} \frac{S-1}{S}$$

con la cual se puede marcar el vástago para determinar las densidades relativas

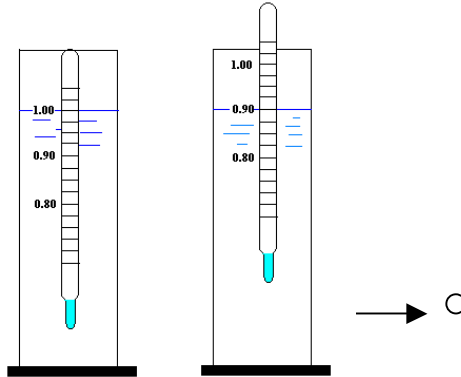


Figura 1 Hidrómetro en dos líquidos con densidad conocida

1.5 MEDICION DE LA DENSIDAD: Método de la balanza hidrostática

El método de la balanza hidrostática relaciona el principio de flotabilidad de un elemento (esfera) de material insoluble en el líquido y la masa del líquido desalojado, mediante la utilización del líquido en estudio y el agua de propiedades conocidas. La densidad relativa se obtiene mediante la razón entre la masa del líquido a estudiar y el agua:

$$S = M_2 (\text{líquido a estudiar}) / M_1 (\text{agua})$$

1.6 MEDICION DE LA VISCOSIDAD

Existen numerosos procedimientos y equipos para la determinación del valor de la viscosidad en un líquido, como por ejemplo el viscosímetro de tambor giratorio, viscosímetro de tubo capilar (en "U"), Método de Stokes, Capilares de vidrio y de caída de bola.

El principio del viscosímetro de caída de bola. (método de Stokes) es sencillo, se basa en el hecho de que cuando un cuerpo cae en un fluido bajo la sola influencia de la gravedad, este se acelera hasta que su peso queda balanceado por la fuerza de flotación y la fuerza de arrastre viscoso que actúan en dirección contraria a la velocidad del cuerpo. Entonces, la

velocidad que adquiere el cuerpo en condiciones estacionarias se conoce como velocidad terminal (sin aceleración), la cual está relacionada con las fuerzas viscosas que actúan sobre el cuerpo (Figura 2).

En la Figura 2 se muestra el diagrama de cuerpo libre de la esfera, para el momento en que la aceleración de la misma es cero. Obteniendo la siguiente relación:

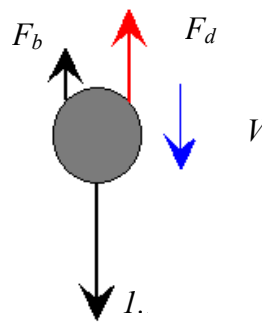


Figura 2 Diagrama de cuerpo libre sobre la esfera

$$W - F_b - F_d = 0$$

$$\text{donde } W = \gamma_{esfera} V_{esfera} = \frac{\pi}{6} D^3 \gamma_{esfera} \text{ y } F_b = \gamma_{Liquido} V_{desplazado} = \frac{\pi}{6} D^3 \gamma_{Liquido}$$

Introduciendo el concepto de coeficiente de arrastre:

$$C_d = \frac{F_d}{\frac{1}{2} \rho V^2 \left(\frac{\pi D^2}{4} \right)}$$

Entonces, la fuerza de arrastre sobre una esfera para fluidos viscosos y velocidades bajas, puede aproximarse por:

$$F_d = \frac{\pi}{8} C_d \rho V^2 D^2$$

El número de Reynolds relaciona las fuerzas inerciales con la fuerza viscosa y se determina para una velocidad y una longitud característica. El número de Reynolds para esferas viene dado por:

$$\text{Re}_D = \frac{\rho VD}{\mu}$$

Luego, para $\text{Re}_D \ll 1$ el coeficiente de arrastre resulta:

$$C_d = \frac{24}{\text{Re}_D}$$

De esta manera la fuerza de arrastre conduce a lo siguiente:

$$F_d = 3\pi \mu VD$$

Sustituyendo en la ecuación inicial

$$\frac{\pi}{6} D^3 \gamma_{\text{esfera}} - \frac{\pi}{6} D^3 \gamma_{\text{liquido}} - 3\pi \mu VD = 0$$

Y finalmente, resolviendo para la viscosidad μ

$$\mu = \frac{(\gamma_{\text{esfer}} - \gamma_{\text{liquido}}) D^2}{18 V}$$

Donde V , se obtiene de medir el tiempo que la bola tarda en recorrer una distancia conocida, Figura 3.

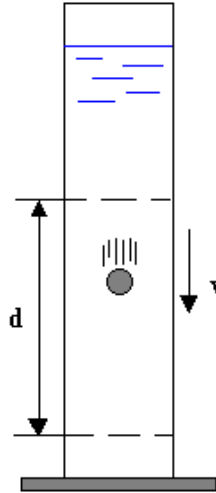


Figura 3 Experimento de caída de bola

La viscosidad de los líquidos puede aproximarse a la siguiente relación empírica¹:

$$\frac{\mu}{\mu_{20^{\circ}\text{C}}} \approx \exp\left[C\left(\frac{293\text{K}}{T[\text{K}]} - 1\right)\right] \quad \text{Con } \Delta\mu \leq 6\%\mu$$

Tabla 1 Viscosidad a 20°C para distintos fluidos y el parámetro de viscosidad

Líquido	$\mu_{20^{\circ}\text{C}}$ [kg/m-s]	C
Agua	0,001	Ver tablas
Glicerina	1,49	28
Aceite SAE 10W	0,104	15,7
Aceite SAE 10W30	0,17	14
Aceite SAE 30W	0,29	18,3
Aceite SAE 50W	0,86	20,2

¹ Frank M. White, *Mecánica de Fluidos*, Mc Graw-Hill

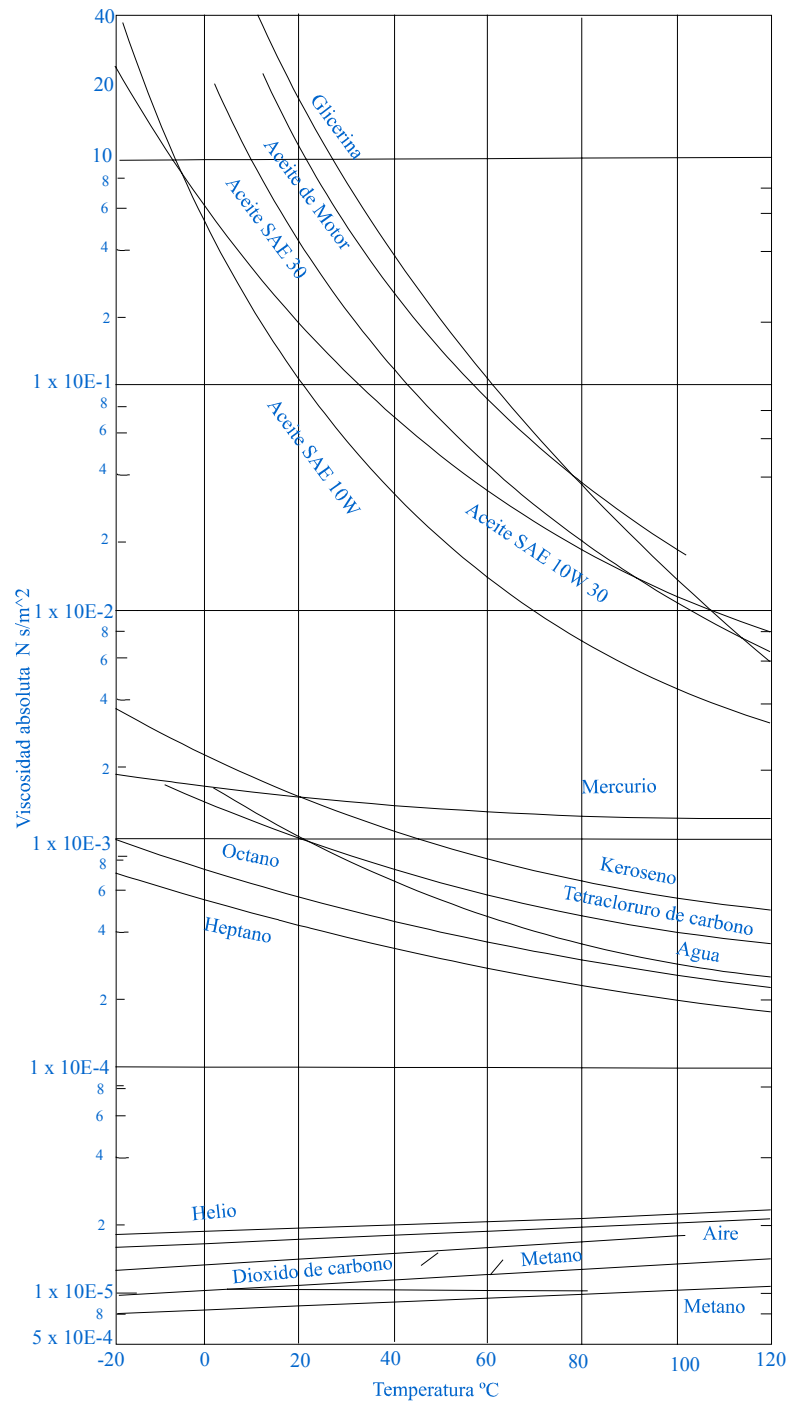


Figura 4 Viscosidad dinámica de fluidos comunes a presión atmosférica

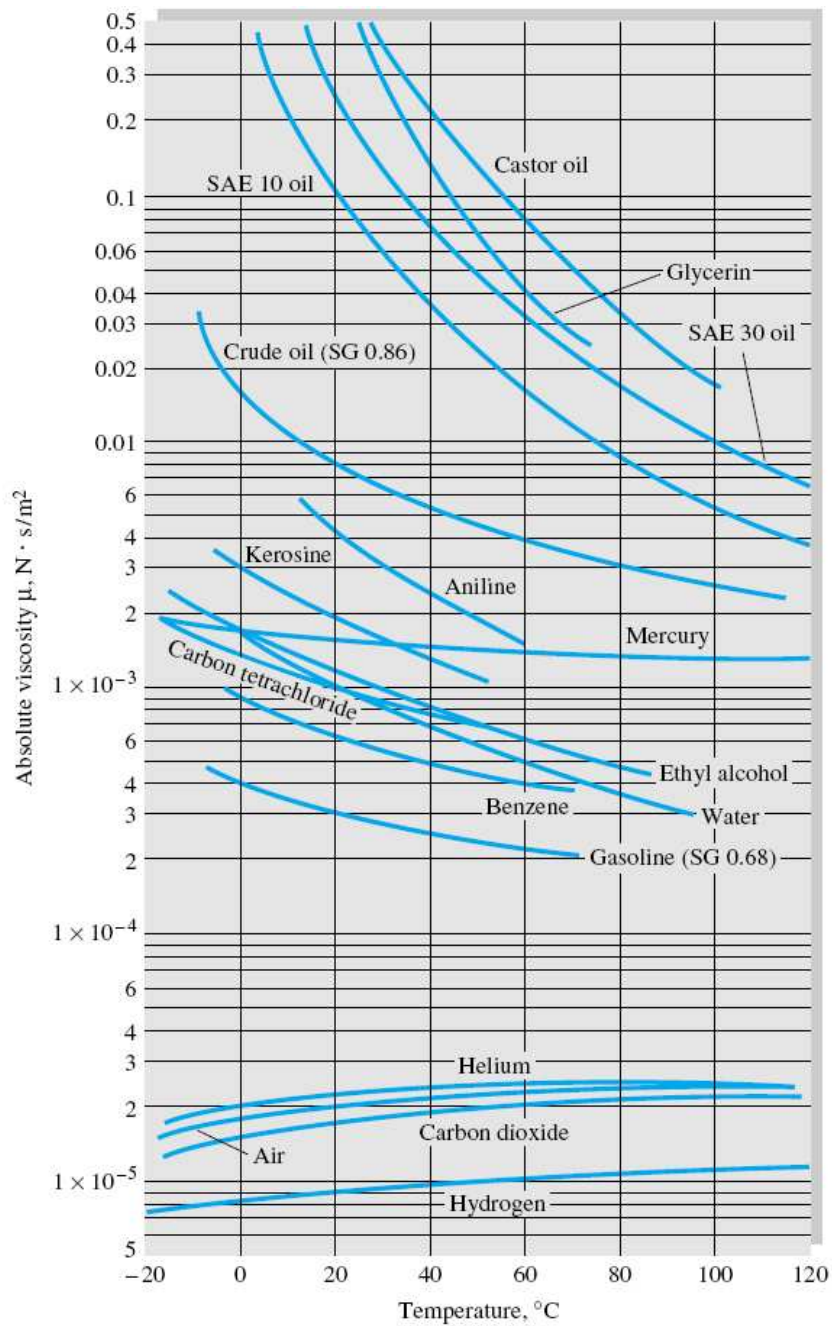


Figura 5 Viscosidad dinámica de fluidos comunes a presión atmosférica²

² Frank M. White, *Mecánica de Fluidos*, Mc Graw-Hill

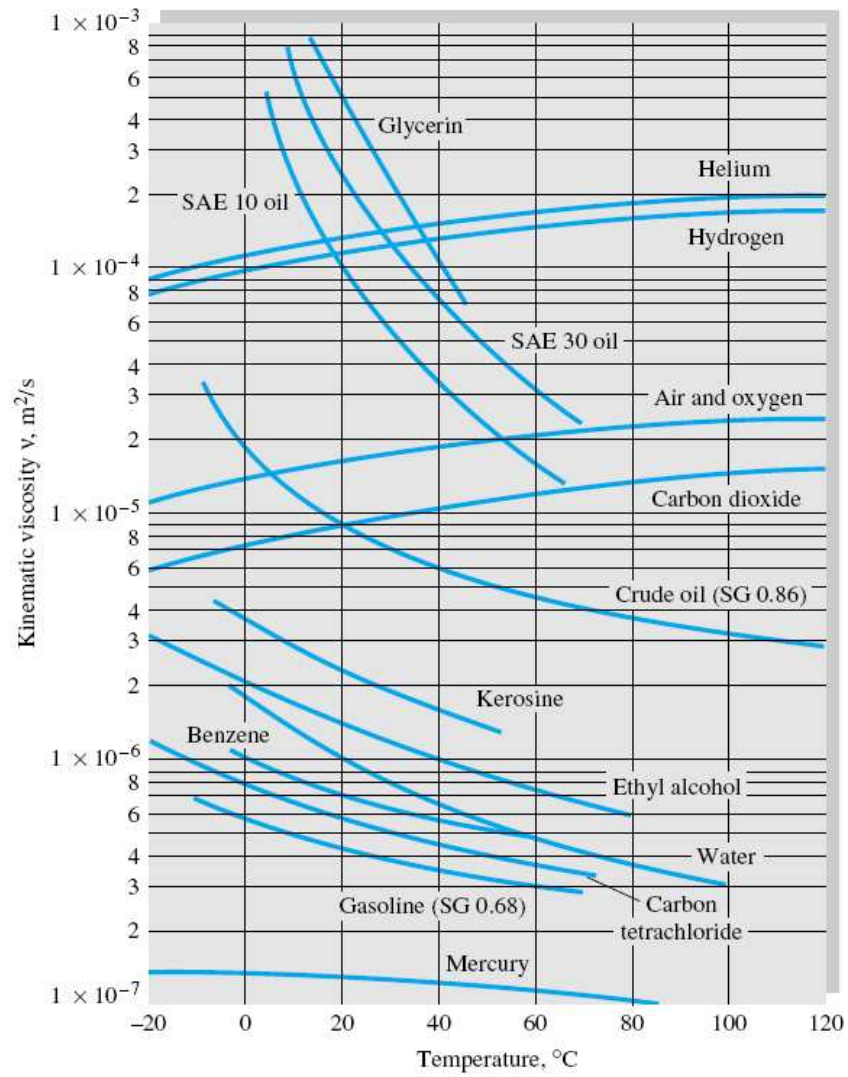


Figura 6 Viscosidad cinemática de fluidos comunes a presión atmosférica³

La viscosidad cinemática viene dada por:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} [L^2 T^{-1}]$$

³ Frank M. White, *Mecánica de Fluidos*, Mc Graw-Hill

Tabla 2 Propiedades físicas del agua con la temperatura⁴

$T, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{kg/m}^3$	$\mu, \text{N} \cdot \text{s/m}^2$	$\nu, \text{m}^2/\text{s}$	$T, ^\circ\text{F}$	$\rho, \text{slug/ft}^3$	$\mu, \text{lb} \cdot \text{s/ft}^2$	$\nu, \text{ft}^2/\text{s}$
0	1000	1.788 E-3	1.788 E-6	32	1.940	3.73 E-5	1.925 E-5
10	1000	1.307 E-3	1.307 E-6	50	1.940	2.73 E-5	1.407 E-5
20	998	1.003 E-3	1.005 E-6	68	1.937	2.09 E-5	1.082 E-5
30	996	0.799 E-3	0.802 E-6	86	1.932	1.67 E-5	0.864 E-5
40	992	0.657 E-3	0.662 E-6	104	1.925	1.37 E-5	0.713 E-5
50	988	0.548 E-3	0.555 E-6	122	1.917	1.14 E-5	0.597 E-5
60	983	0.467 E-3	0.475 E-6	140	1.908	0.975 E-5	0.511 E-5
70	978	0.405 E-3	0.414 E-6	158	1.897	0.846 E-5	0.446 E-5
80	972	0.355 E-3	0.365 E-6	176	1.886	0.741 E-5	0.393 E-5
90	965	0.316 E-3	0.327 E-6	194	1.873	0.660 E-5	0.352 E-5
100	958	0.283 E-3	0.295 E-6	212	1.859	0.591 E-5	0.318 E-5

Suggested curve fits for water in the range $0 \leq T \leq 100^\circ\text{C}$:

$$\rho(\text{kg/m}^3) \approx 1000 - 0.0178 |T^\circ\text{C} - 4^\circ\text{C}|^{1.7} \pm 0.2\%$$

$$\ln \frac{\mu}{\mu_0} \approx -1.704 - 5.306z + 7.003z^2$$

$$z = \frac{273 \text{ K}}{T \text{ K}} \quad \mu_0 = 1.788 \text{ E-3 kg/(m} \cdot \text{s)}$$

⁴ Frank M. White, *Mecánica de Fluidos*, Mc Graw-Hill