

Viscosidad de un fluido

Viscosity of a fluid

Martín Ortiz-Domínguez ^a, Arturo Cruz-Avilés ^b

Abstract:

In the present laboratory practice, the dynamic behavior of an object immersed in a viscous fluid descending through the consideration of gravitational force, buoyancy force and drag force is analyzed to estimate the viscosity of a fluid. It is important to consider the property of viscosity, which plays a dominant role in most aspects of fluid flow. It is also of great importance in many industrial processes.

Keywords:

Viscosity, Coefficient of friction, Drag force, Thrust force.

Resumen:

En la presente práctica de laboratorio se analiza el comportamiento dinámico de un objeto sumergido en un fluido viscoso que desciende a través de la consideración de la fuerza gravitacional, la fuerza de empuje y la fuerza de arrastre, para estimar la viscosidad de un fluido. Es importante tener en cuenta la propiedad de viscosidad, la cual tiene un papel dominante en la mayor parte de los aspectos del flujo de fluidos. Además de tener gran importancia en múltiples procesos industriales.

Palabras Clave:

Viscosidad, Coeficiente de fricción, Fuerza de arrastre, Fuerza de empuje

Introducción

La viscosidad, como la difusión y la conducción de calor, es un mecanismo de nivelación de propiedades intensivas del medio en el que se manifiesta. La viscosidad nivela la velocidad; la difusión nivela la composición; la conducción de calor nivela la temperatura. En los tres casos hay una aproximación al estado de equilibrio térmico, mediante el transporte molecular de determinadas magnitudes extensivas (de

momento lineal en la viscosidad, de partículas en la difusión y de energía en la conducción de calor). La viscosidad puede, así, ser entendida como un fenómeno de transporte. Cuando un cuerpo se mueve en el seno de un líquido viscoso en reposo (ver Figura 1), a causa de la viscosidad, aparece un flujo de momento lineal desde el cuerpo hacia el líquido. Además, como entre la superficie de un sólido y un fluido hay fuerzas de cohesión molecular, la capa de líquido más próxima al cuerpo se adhiere a éste y se mueve con la velocidad del cuerpo.

^a Autor de Correspondencia, Licenciatura en Ingeniería Mecánica, Escuela Superior de Ciudad Sahagún, UAEH, Tepeapulco, Hidalgo, México, ORCID: 0000-0003-4475-9804, Email: martin_ortiz@uaeh.edu.mx;

^b Licenciatura en Ingeniería Mecánica, Escuela Superior de Ciudad Sahagún, UAEH, Tepeapulco, Hidalgo, México, ORCID: 0000-0003-0455-1646, Email: arturo_cruz8085@uaeh.edu.mx;

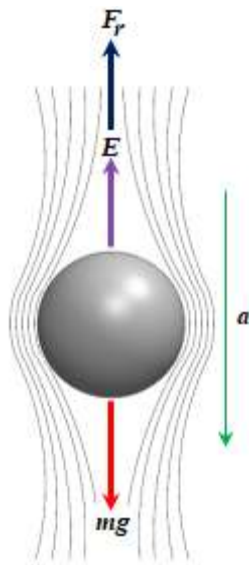


Figura 1. Caída de una partícula de masa en un fluido viscoso.

Fuente: Elaboración propia.

Los líquidos de referencia (agua) sufren un ligero incremento de viscosidad con el tiempo, que se debe principalmente a la oxidación fotoquímica. Por esta razón, los valores de viscosidad declarados en una certificación son válidos por un período de 12 meses, con la condición que los líquidos de referencia se almacenen en frascos color ámbar y en un lugar oscuro. 1-8

Objetivo general

Determinar el comportamiento dinámico de un objeto sumergido en un fluido viscoso que desciende, a través de la consideración de la fuerza gravitacional, la fuerza de empuje y la fuerza de arrastre, para estimar la viscosidad del fluido empleado.

Objetivos específicos

- Estimar la velocidad media de descenso del objeto sumergido en el fluido, a través de la medición directa de la distancia y tiempo, para contemplarla en la medición de la viscosidad.
- Estimar la velocidad corregida de descenso del objeto sumergido en el fluido, a través de la velocidad media y la corrección empírica (λ), para hacer una comparación de la medición de la viscosidad.

Aplicaciones prácticas

La viscosidad es una propiedad de los fluidos que es de gran importancia en múltiples procesos industriales, además de ser una variable de gran influencia en las mediciones de flujo de fluidos, el valor de viscosidad se usa como punto de referencia en la formulación de nuevos productos, facilitando la reproducción de la consistencia de un lote a otro. Los engranajes son componentes que transmiten torque por medio de la rotación de ejes, a través del encastre de sus dientes especialmente dispuestos, sin ocurrir resbalamiento. La transmisión de torque y movimiento estará dada como función de las diferencias de diámetro entre las ruedas dentadas. Se producen altas cargas mecánicas entre los flancos de dientes en intervalos cortos y regulares, debido a las condiciones de fricción. El lubricante es en consecuencia, fuertemente cargado por un tiempo, y luego aliviado, sufriendo alto stress. El lubricante elegido debe tener la viscosidad adecuada, para absorber las cargas mecánicas y también reducir la fricción en flancos de dientes cuando deslizan uno sobre otro (ver Figura 2). Así se aumenta la eficiencia, se reduce el desgaste, se disipa calor de fricción y se reduce el ruido. La elección del lubricante es un factor importante para la confiabilidad en servicio y la vida de la máquina.



Figura 2. Lubricación de engranes. 9

En el futuro se espera un aumento en el uso de lubricantes especiales para engranajes, debido a las mejoras en materiales, mayores velocidades periféricas y las mejoras en la medición de cargas combinadas.

En el sector de la alimentación, los yogures, las salsas, la mostaza, el tomate concentrado, los aceites (ver Figura 3), geles médicos, colorantes, emulsiones y cremas son productos que suelen someterse a mediciones de viscosidad, por ejemplo, para mejorar la consistencia de una sustancia pastosa o bien para optimizarla de cara a la línea de producción.



Figura 3. Aceite de oliva, se somete a mediciones directas de viscosidad en lotes durante la producción. 10

Los ungüentos por ejemplo se usan para recubrir partes del cuerpo como piel, labios, dedos, uñas, pelo, globo del ojo, etc. El medicamento debe de extenderse adecuadamente cuando se frota sobre la piel. Por lo tanto un test de viscosidad relevante debería de usar gradientes de velocidad que reproducen los que se generan cuando se aplica un ungüento sobre la piel.



Figura 4. Control de calidad de un ungüento. 11

Teoría

La esfera de acero se mueve bajo la acción de las siguientes fuerzas: el peso (mg), el empuje (E) (se supone que el cuerpo está completamente sumergido en el seno de un fluido) y una fuerza de rozamiento que es proporcional a la velocidad de la esfera (F_r) (suponemos que el flujo se mantiene en régimen laminar).

- **Peso**

$$w = m_e g \quad (1)$$

Dónde: w representa al peso, m_e es la masa de la esfera de acero y g es la aceleración de la gravedad. Asimismo, sabemos que la densidad de la esfera se define como:

$$\rho_e = \frac{m_e}{V} \quad (2)$$

Y el volumen de la esfera se expresa como:

$$V = \frac{4}{3} \pi R_e^3 \quad (3)$$

Dónde: R_e es el radio de la esfera. Combinando las Ecs. (2) y (3), para obtener una expresión para la masa de la esfera de acero, la Ec. (1), se puede escribir como:

$$m_e g = \frac{4}{3} \rho_e \pi R_e^3 g \quad (4)$$

- **Empuje**

De acuerdo con el principio de Arquímedes, el empuje es igual al producto de la densidad del fluido ρ_f , por el volumen del cuerpo sumergido y por la aceleración de la gravedad.

$$E = \frac{4}{3} \rho_f \pi R_e^3 g \quad (5)$$

- **Fuerza de rozamiento**

La fuerza de rozamiento es proporcional a la velocidad y su expresión se denomina ley de Stokes con la corrección empírica (λ) propuesta por Ladenburg, Emersleben y Faxén:

$$F_r = 6\pi\eta R_e v \lambda \quad (6)$$

Donde η representa el coeficiente de viscosidad del fluido. Considerando a las Ecs. (4), (5) y (6), la ecuación del movimiento, resulta en:

$$ma = \frac{4}{3} \rho_e \pi R_e^3 g - \frac{4}{3} \rho_f \pi R_e^3 g - 6\pi\eta R_e v \lambda \quad (7)$$

La velocidad límite, se alcanza cuando la aceleración sea cero, es decir, cuando la resultante de las fuerzas que actúan sobre la esfera es cero, por lo que la Ec. (7), se reduce a:

$$0 = \frac{4}{3} \rho_e \pi R_e^3 g - \frac{4}{3} \rho_f \pi R_e^3 g - 6\pi\eta R_e v_{\text{lim}} \lambda \quad (8)$$

Despejando a la velocidad límite (v_{lim}) de la Ec. (8)

$$v_{\text{lim}} = \frac{2g(\rho_e - \rho_f)R_e^2}{9\eta\lambda} \quad (9)$$

El valor de dicha velocidad se obtiene también dividiendo el desplazamiento y entre el tiempo en el que tarda la esfera en desplazarse t .

$$v_{\text{lim}} = \frac{y}{t} \quad (10)$$

Igualando las Ecs. (9) y (10), y despejando al coeficiente de viscosidad del fluido:

$$\frac{y}{t} = \frac{2g(\rho_e - \rho_f)R_e^2}{9\eta\lambda} \quad (11)$$

$$\eta = \frac{2g(\rho_e - \rho_f)R_e^2}{9\lambda y} t \quad (12)$$

Donde:

$$\lambda = \left(1 + 2.4 \frac{D_e}{\varphi}\right) \quad (13)$$

En la que φ representa el diámetro interno del cilindro de acrílico y D_e es el diámetro de la esfera.

Materiales y procedimiento

Esta práctica permite que los estudiantes puedan estimar el coeficiente viscosidad de un fluido con ayuda de un viscosímetro simple de esfera descendente (ver Figura 4).

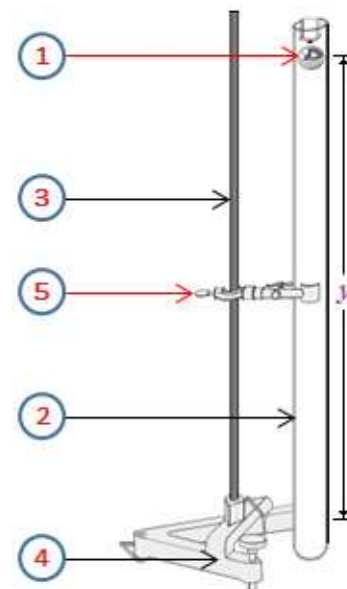


Figura 4. Equipo empleado para encontrar el coeficiente de viscosidad de un fluido. 1: Esfera de acero; 2: Tubo de acrílico, 3: Soporte; 4: Base de soporte grande; 5: Pinza con mordaza.

Fuente: Elaboración propia.

La unidad autónoma sostiene un tubo de acrílico lleno con un fluido de prueba, para las comparaciones empleamos dos fluidos con diferente viscosidad y para minimizar el drenaje, el tubo cuenta con un desagüe y así poderlo rellenar con los líquidos, después de la experimentación (ver Figura 4). El estudiante llena el tubo con el líquido de prueba elegido, luego seleccionan una esfera de acero y tamaño correctos para el fluido. Dejan caer la esfera en el líquido de prueba, por la parte superior del tubo de acrílico. A continuación, utilizan un cronómetro para medir el tiempo (t) necesario para que la esfera caiga una distancia establecida por el tubo (y). Cuando la esfera de la prueba alcanza la parte inferior del tubo, con la ayuda de un imán deslizando desde fuera a lo largo del tubo hacia arriba, hasta llegar al imán de retención. Los fluidos de ensayo utilizados incluyen agua, aceite de máquina delgado, aceite de ricino, glicerina y aceite de motor. El aparato se puede utilizar con cualquier fluido que pueda manipularse con seguridad y sea químicamente compatible con las partes del equipo – acrílico.

1.- Esfera de acero: empleado para determinar la velocidad promedio desde una distancia establecida por el tubo de acrílico.



Figura 5. Vaso precipitado. 12

2.- Aceite y glicerina: fluidos empleados para determinar su coeficiente de viscosidad (η):



Figura 6. Aceite y glicerina.
Fuente: Elaboración propia.

3.- Cronómetro: es un reloj de mano diseñado para medir la cantidad de tiempo que transcurre entre su activación y desactivación.



Figura 7. Cronometro. 13

4.- Báscula de precisión: permite determinar la masa de la esfera de acero. Asimismo, se puede obtener una legibilidad en el rango de 1 mg (0.001 g) a 1 g, o de 0-3 decimales.



Figura 8. Báscula de precisión. 14

5.- Soporte universal: integrado por una base de soporte grande en forma de V y una varilla de acero cromado. El soporte se utiliza para sujetar el tubo de acrílico.



Figura 9. Soporte Universal Pasco. 15

6.- Calibrador vernier: permite medir con gran precisión cualquier tipo de objeto, ya sea que tenga superficies internas, externas y/o profundidades.



Figura 10. Calibrador vernier. 16

7.- Pinza para soporte: se usa para sujetar instrumentos en el montaje de sistemas.



Figura 11. Pinzas para soporte. 17

Equipo de protección individual a utilizar:

- Bata blanca
- Botas de seguridad
- Guantes de látex blandos
- Gafas de protección

Realice el experimento siguiendo los siguientes pasos:

- Llenar el tubo de acrílico con el líquido a medir.
- Colocar marcas en la parte superior e inferior del tubo de acrílico a alrededor de 2.5 cm.
- Medir la distancia entre las marcas superior e inferior.

- Medir el radio de la esfera de acero.
- Dejar caer la esfera de acero dentro del tubo de acrílico.
- Registra el tiempo que le toma a la esfera recorrer la distancia entre ambas marcas. Nota: Los líquidos con bajas viscosidades serán más difíciles de medir con este método debido a que es más difícil detener el cronómetro de forma precisa. Repite este paso por lo menos cinco veces (mientras más veces lo repitas, tu medida será más precisa) y calcula el tiempo promedio de las cinco mediciones.
- Lavar el material utilizado.

Resultados

Las lecturas se pueden tabular en la forma descrita en las Tabla 1 y 2. Los resultados se pueden calcular de acuerdo con la teoría dada.

Tabla 1. Densidad de la esfera de acero.
Fuente: Elaboración propia

Objeto	Radio (m)	Volumen (m ³)	Masa (kg)	Densidad del objeto (kg/m ³)
1.-				
2.-				
3.-				

Tabla 2. Densidad del fluido.
Fuente: Elaboración propia

Sustancia	Volumen (m ³)	Volumen (ml)	Masa (kg)	Densidad de la sustancia (kg/m ³)
1.-				
2.-				
3.-				

Cálculos

Calcule y registre en la Tabla 3, la viscosidad de los fluidos empleados considerando los datos registrados en las Tablas 1 y 2:

Tabla 3. Resultados.
Fuente: Elaboración propia

Objeto	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad límite (m/s)	Coefficiente de viscosidad de la sustancia (Pa·s)
1.-				
2.-				
3.-				

Conclusiones

Se logró determinar la velocidad media de descenso del objeto sumergido en el fluido empleado, a través de la medición directa de la distancia y tiempo, Además se encontró la velocidad corregida de descenso del objeto sumergido, a través de la velocidad media y la corrección empírica (λ), para hacer una comparación de la medición de la viscosidad.

Agradecimientos

El trabajo descrito en el presente artículo fue financiado por la beca otorgada por **PROMEP**. Asimismo, le agradezco al **Dr. Jorge Zuno Silva**, quien es *Director de la Escuela Superior de Ciudad Sahagún-UAEH*, México, por todas las facilidades para concluir este trabajo.

Referencias

- [1] White, F., (2008). *Mecánica de fluidos*, Ed. McGraw Hill.
- [2] Crespo, A., (2006). *Mecánica de fluidos*, Ed. Thomson.
- [3] Barrero Ripoll, A., Pérez-Saborid Sánchez-Pastor, M., (2005) *Fundamentos y aplicaciones de la Mecánica de Fluidos*, Ed. McGraw Hill
- [4] Cruz de San Pedro, J. C., (2020) *Laboratorio de Fenómenos Colectivos: La viscosidad de los líquidos*, Consultado el 17 de Noviembre del 2020 en: <http://www.lawebdefisica.com/files/practicas/fluidos/viscosidadliquido s.pdf>
- [5] Gatica, C., (2020). *Experimento para determinar la viscosidad de un fluido*. Consultado el 17 de Noviembre del 2020 en: <http://algodeu.blogspot.mx/2011/10/experimento-para-determinar-la.html>
- [6] Número de Reynolds. Consultado el 17 de Noviembre del 2020 en: <http://www.valvias.com/numero-de-reynolds.php>
- [7] La ley de Stokes. Consultado el 17 de Noviembre del 2020 en: <http://es.knowledger.de/0544872/LaLeyDeStokes>

- [8] Fernández-Cruz, R., Hernández-Pérez, J. L., Solá de los Santos, J., (2014), *Puntualizaciones en las aplicaciones didácticas de la ley de Stokes*, Lat. Am. J. Phys. Educ. 8;126-131.
- [9] Zakharevich, I. (2020). *Engranajes de engrase*, consultado 17 de Noviembre 2020 en: [Engranajes de engrase stock de ilustración. Ilustración de unidad - 69558118 \(dreamstime.com\)](#)
- [10] Barria, C. (2019). *Aceite de oliva*, consultado 17 de Noviembre de 2020 en *El fraude del aceite de oliva: 5 maneras para saber si el producto que compras es genuino - BBC News Mundo*
- [11] Helmenstine, A. M., (2020). *Gel Definition in Chemistry*, consultado 17 de Noviembre en: [Gel Definition in Chemistry \(thoughtco.com\)](#)
- [12] iStock, (2020), *Esfera metálica brillante con trazado de recorte*, consultado el 17 de Noviembre de 2020 en: [Esfera Metálica Brillante Con Trazado De Recorte Foto de stock y más banco de imágenes de Esfera - iStock \(istockphoto.com\)](#)
- [13] The motorsport center, (2020). *Cronometro digital Big Digital*, recuperado de: llystore.net/es/cronometros/1887-cronometro-digital-big-digit-4891727089500.html
- [14] Equipo para laboratorio, (2020). *Balanza de precisión*, recuperado de: [Balanza de Precision - 1000g / 0.01g \(equipoparalaboratorio.mx\)](#)
- [15] TecnoEdu, (2020). Enseñanza de física, recuperado de: [Laboratorios Completos de Física p/Nivel Superior - TecnoEdu](#)
- [16] Mecánica y mantenimiento, (2020). *Calibrador Virtual-Nonio Vernier*, recuperado de: [Download Calibrador Virtual-Nonio Vernier – QBPROFE Academy](#)
- [17] Material de laboratorio, (2020), *Soporte de laboratorio de tres puntas con sujetador*, recuperado de: *Pinzas para Bureta - ¿Qué es, cómo funciona y para qué sirve? (materialeslaboratorio.com)*