

Análisis de la velocidad de cuerpos esféricos en sustancias viscosas

Débora Leibovich, María Cecilia Molas y Florencia Rodriguez Riou

*Facultad de Ingeniería, Ciencias Exactas y Naturales
Universidad Favaloro, Av. Belgrano 1723, C. A. de Buenos Aires, Argentina*

Resumen

En el presente trabajo se analiza la influencia de la fuerza viscosa en los cambios de velocidad de un cuerpo que se mueve dentro de un fluido. Para ello se consideran dos modelos diferentes en los cuales la fuerza viscosa es proporcional a la primera o segunda potencia de la velocidad instantánea. De acuerdo a los resultados obtenidos, se estudian en una segunda instancia los coeficiente de viscosidad del aceite de motor y de la glicerina.

Introducción

La viscosidad es una medida de la fricción interna del fluido, es decir, caracteriza su resistencia a la deformación por corte. Las fuerzas viscosas se oponen al movimiento de una porción del fluido relativo a otra, siendo proporcionales a la razón de deformación para el caso de un fluido newtoniano.

Para modelizar el movimiento de una esfera en un fluido puede considerarse que la fuerza viscosa es proporcional a la primera o segunda potencia de la velocidad instantánea, de acuerdo con el número de Reynolds R . Si $R < 1$ el primer criterio resulta más adecuado, mientras que cuando $1 < R < 10^5$ el modelo cuadrático ajusta mejor a los datos experimentales.

Cuando un cuerpo esférico cae en un fluido, su movimiento está condicionado por el peso del objeto, la fuerza viscosa y el empuje. Si el flujo es laminar, la fuerza viscosa ejercida sobre una esfera de radio r que se mueve con una rapidez v en un fluido de viscosidad η responde a la Ley de Stokes:

$$F_{viscosa} = 6\pi\eta rv$$

En el caso en que se verifique la validez de la Ley de Stokes, es posible estudiar la viscosidad del fluido a partir de la velocidad terminal obtenida experimentalmente.

Parte I: Análisis de la velocidad del cuerpo hasta alcanzar su velocidad terminal

I. Diseño experimental

La figura 1 muestra el dispositivo construido para el experimento. Este consta de una probeta conteniendo aproximadamente 500 ml de glicerina, dentro de la cual se coloca un cuerpo esférico de acero, atado a un hilo muy delgado y resistente. En el otro extremo del hilo se coloca un peso.

Para realizar las mediciones se utiliza un fotointerruptor ubicado de manera tal que el haz de luz se interrumpe al ser atravesado por cada rayo de la polea. De esta manera, es posible obtener la velocidad y aceleración de la esfera en función del tiempo.

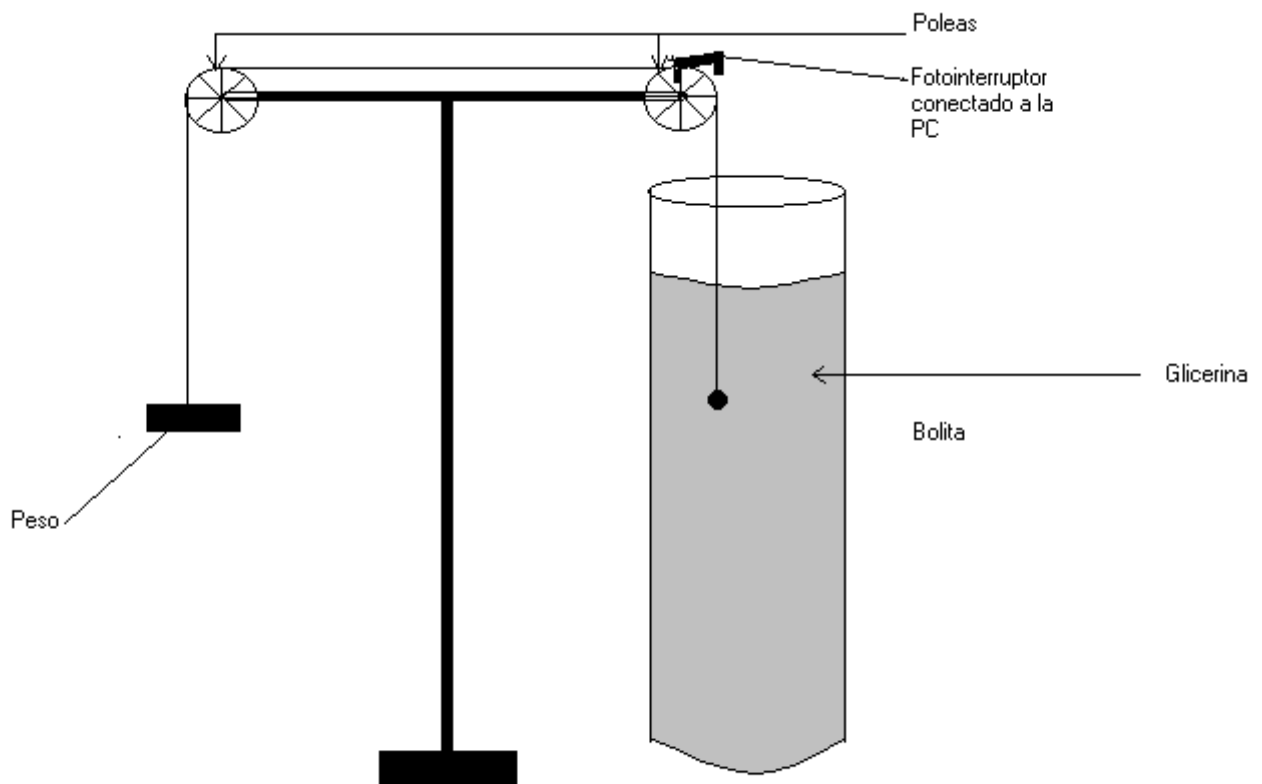


Figura 1. Dispositivo utilizado para la determinación de la velocidad en función del tiempo

II. Metodología

El procedimiento llevado a cabo fue el siguiente:

- Se llenó la probeta con glicerina
- Se colocó en el fondo la esfera de acero
- Se tomó la precaución que la glicerina no contenga burbujas que perturben el movimiento del cuerpo
- Se separó el cuerpo del fondo de la probeta
- Se soltó el peso A, y se registraron con el fotosensor los tiempos correspondientes a las sucesivas interrupciones del haz de luz
- Realizando el análisis de datos en base al programa Presicion Timer, se obtuvieron los valores de velocidad y aceleración en función del tiempo.

Este procedimiento se repitió sucesivas veces, para diferentes pesos y utilizando esferas de diversos diámetros.

III. Resultados

Se realiza un análisis detallado de los resultados obtenidos para el ensayo correspondiente a los siguientes datos:

Masa del cuerpo esférico: $(23,8 \pm 0,1)$ gr

Masa del contrapeso: $(43,0 \pm 0,1)$ gr

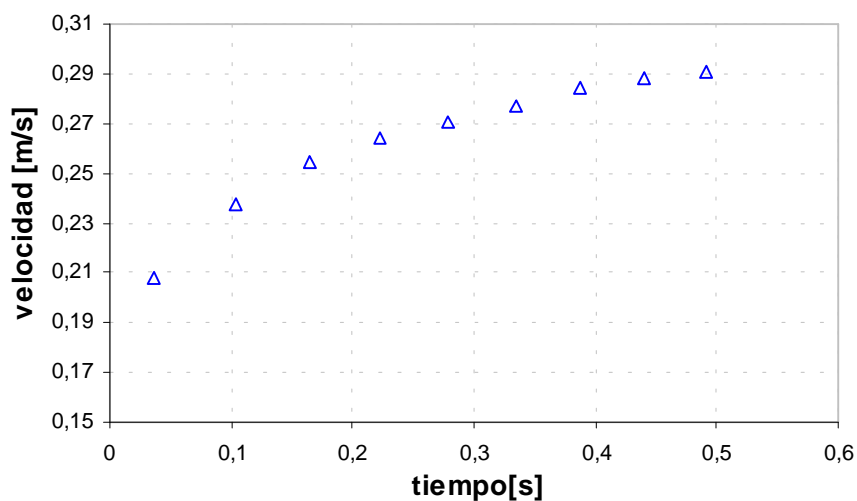


Figura 2. Representación gráfica de la velocidad de la esfera de acero en función del tiempo durante su ascenso a través de la glicerina

En la figura 2 se representan los datos experimentales obtenidos para la velocidad de la esfera de acero en función del tiempo.

Siendo E el empuje y T la tensión en la cuerda, de acuerdo a la segunda ley de Newton:

$$\Sigma F_y = E + T - F_{\text{viscosa}} + (-mg) = ma$$

Es decir,

$$F_{\text{viscosa}} = -ma - E - T + mg$$

Por lo tanto, conociendo la aceleración en función del tiempo, la masa y el radio de la esfera, la masa del contrapeso y la densidad de la glicerina, puede determinarse $F_{\text{viscosa}}(t)$.

De acuerdo a este análisis, se traza la gráfica de la fuerza viscosa en función de la velocidad que se muestra a continuación:

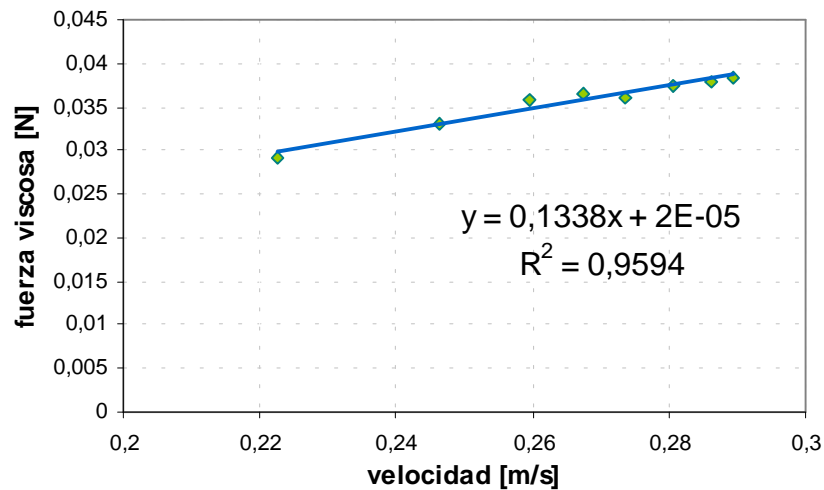


Figura 3. Gráfica de la fuerza viscosa en función de la velocidad.

Los resultados obtenidos muestran una dependencia lineal¹ de la fuerza viscosa con la velocidad instantánea.

¹ Esto coincide con la suposición inicialmente planteada ya que $R \approx 10$

Segunda Parte: Cálculo de la viscosidad del aceite de autos y de la glicerina

I. Análisis

Para el análisis de la viscosidad de la glicerina y del aceite se estudió el movimiento de una bolita de acero en dichos fluidos haciendo uso, nuevamente, del balance de fuerzas de la segunda ley de Newton. En este caso el cuerpo ha llegado a su velocidad terminal, no se encuentra acelerado:

$$\Sigma F_y = E - F_{vis \cos \alpha} + (-mg) = 0$$

Sean ρ y ρ' las densidades de la esfera y del fluido

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho' g - \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g + 6\pi\eta r v = 0$$

$$\eta = \frac{\frac{4}{3}\pi r^3 (\rho - \rho') g}{6\pi r v}$$

II. Diseño experimental

La figura 4 muestra el dispositivo construido para el experimento. Este consta de una probeta graduada conteniendo aproximadamente 500 ml del fluido a analizar, dentro de la cual se dejan caer bolitas de acero y nylon. Para medir su velocidad de caída se utiliza un cronómetro.

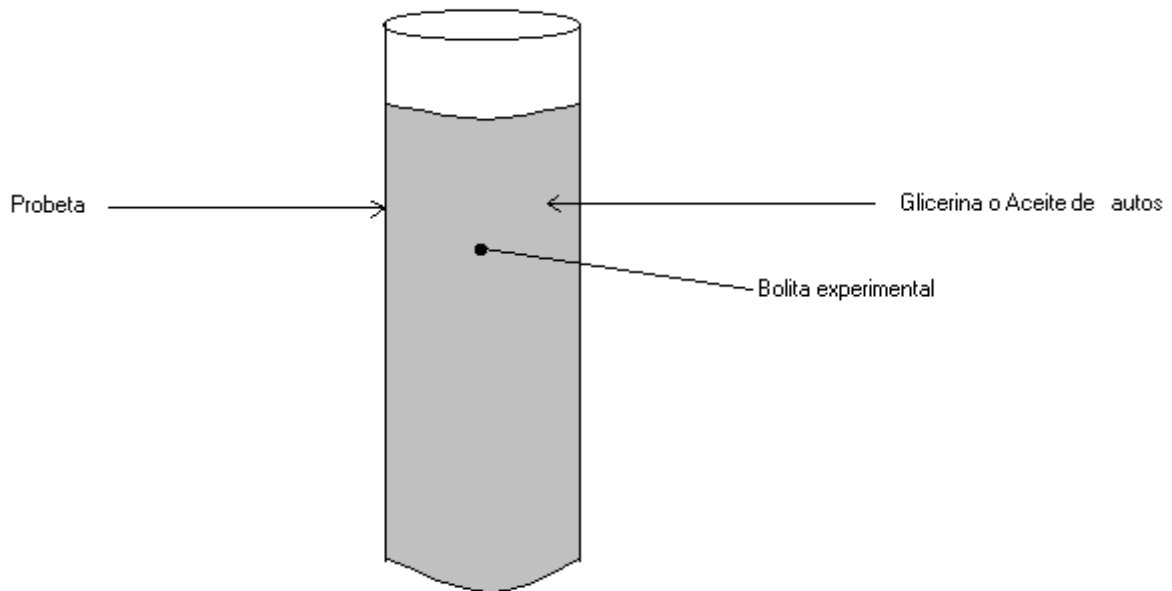


Figura 4. Dispositivo experimental utilizado para la determinación de la viscosidad del aceite de motor y de la glicerina.

III. Metodología

El procedimiento llevado a cabo consistió en dejar caer esferas dentro del fluido, y registrar los tiempos de caída entre puntos equidistantes. Para la elección del punto inicial se debió tener la certeza de que las bolitas hubieran llegado a su velocidad terminal. Para ello se midieron los tiempos que estas tardaban en recorrer distancias equidistantes.

A partir de estas mediciones se construye una gráfica de la distancia recorrida en función del tiempo de la cual puede obtenerse la velocidad terminal alcanzada.

Para cada esfera se obtiene un valor de velocidad terminal que permite calcular la viscosidad del fluido. Este experimento se realiza sucesivas veces para esferas del mismo material y diámetros similares, obteniéndose en cada caso un valor de viscosidad y realizándose luego un promedio de dichos valores.

El procedimiento descrito se repite utilizando esferas de diversos materiales y diámetros, así como para diferentes fluidos.

IV. Resultados

Se detallan los resultados obtenidos para el siguiente caso:

- Fluido: aceite de motor
- Material de las esferas: nylon
- Diámetro de las esferas: $(4,71 \pm 0,01)$ mm
- Masa de las esferas: (650 ± 3) mg (10 esferas)

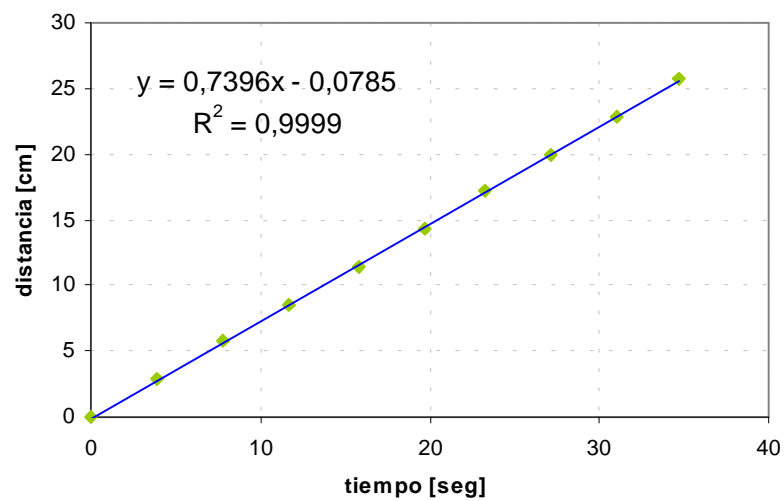


Figura 4. Variación de la distancia con el tiempo del movimiento de una bolita de nylon en aceite de motor

La figura 4 muestra la dependencia lineal de la distancia recorrida por la bolita de nylon en el aceite. La bolita ha llegado a su velocidad terminal, dada por la pendiente de la recta:

$$V_{\text{terminal}} = 0,7396 \text{ cm/seg}$$

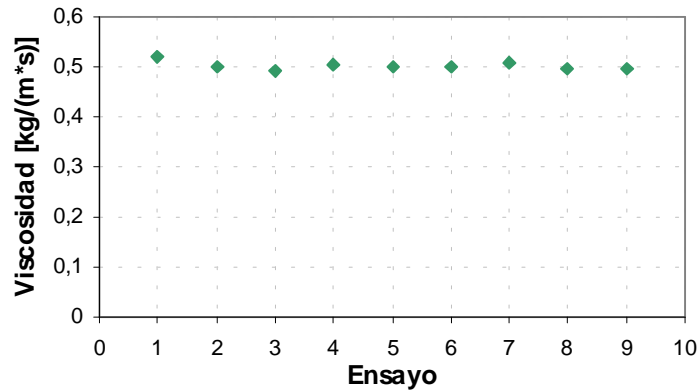


Figura 5. Representación gráfica de los resultados obtenidos para la viscosidad del aceite de motor en el caso descrito

La figura 5 muestra los diferentes valores obtenidos en la medición de viscosidad del aceite de motor para el caso del ensayo descrito, resultando:

$$\text{Viscosidad (aceite de motor)} = (0,50 \pm 0,01) \text{ kg/(m-seg)}$$

Los resultados obtenidos para los diversos ensayos realizados se sintetizan en la siguiente tabla:

Fluido	Material de las esferas	Diámetro esferas [mm]	Masa esferas [mg]	Viscosidad [kg/m-seg]
Aceite de motor	Nylon	4,71±0,01	650±3	0,50±0,01
Aceite de motor	Nylon	3,12±0,01	192±3	0,49±0,01
Aceite de motor	Acero	1,50±0,01	132±1	0,51±0,01
Glicerina	Acero	1,50±0,01	132±1	0,77±0,01

Conclusiones

- Para el experimento realizado resulta adecuado utilizar como modelo aquel que considera una fuerza viscosa proporcional a la velocidad instantánea. Esto implica que se satisface en este análisis la relación planteada entre el número de Reynolds y el modelo apropiado para la dependencia de dicha fuerza con la velocidad.

- En estas condiciones es posible determinar la viscosidad de fluidos a partir de la medición de la velocidad terminal de esferas que se dejan caer en dicho fluido. Esto constituye un método simple y accesible, ya que no requiere de instrumental sofisticado.
- Se obtuvo una gran concordancia entre los valores experimentales que resultaron al medir la viscosidad del aceite de motor utilizando esferas de diferentes materiales y diámetros.

Referencias

- Peastrel, Lynch and Armenti, “Terminal velocity of a shuttlecock in vertical fall”, *Am. J. Phys.* **48**(7), July 1980
- F. Sears *et al.*, *Física Universitaria*, vol. I, Addison Wesley Longman, México, 1999.