

CONSTRUCCIÓN DE UN VISCOSÍMETRO ROTACIONAL PARA FINES DIDÁCTICOS CON ELEMENTOS DE ARDUINO

José G. Pinto¹, Francisco A. Alonso²,
Jonathan M. Morales³

RESUMEN

En este trabajo se presenta el diseño experimental de un viscosímetro rotacional (VR) para ser usado con fines didácticos con la finalidad de proponerlo como parte del aprendizaje significativo de la formación integral de los alumnos que cursan la materia de mecánica de fluidos. La implementación del prototipo tiene como finalidad conocer la viscosidad de determinados líquidos Newtonianos de manera experimental, además de comparar los resultados con el modelo comercial Stabinger que es un viscosímetro rotacional con alta precisión comparable a los viscosímetros capilares gravimétricos. La eficiencia del prototipo se llevó a cabo comparando las viscosidades de tres líquidos de referencia con los resultados obtenidos con el prototipo VR y el viscosímetro comercial, después de realizar la Repetitividad y reproducibilidad de las mediciones a temperatura constante, se observó que el VR se ajusta con márgenes de error muy bajos en relación a los valores establecidos por los fabricantes de líquidos y los obtenidos con el modelo comercial. El prototipo solo es capaz de hallar la viscosidad dinámica de los líquidos al mantener constante la temperatura.

Palabras clave: viscosímetro, viscosidad, precisión, arduino.

ABSTRACT

In this work the experimental design of a rotational viscometer (VR) is presented to be used for didactic purposes, with the goal of proposing it as part of the significant learning of the integral formation of the students of the subject of fluid mechanics. The purpose of the prototype implementation is to know the viscosity of certain Newtonian liquids experimentally, in addition to compare the results with the commercial model Stabinger, which is a rotational viscometer with high precision comparable to gravimetric capillary viscometers. The efficiency of the prototype was carried out comparing the viscosities of three reference liquids with the results obtained with the prototype VR and the commercial viscometer, after performing the repeatability and reproducibility of the measurements at constant temperature, it was observed that the VR is adjusted with very low error margins in relation to the values established by the liquid manufacturers and those obtained with the commercial model. The prototype is only able to find the dynamic viscosity of the liquids by keeping the temperature constant.

Keywords: viscometer, viscosity, precision, arduino.

INTRODUCCIÓN

La viscosidad es aquella propiedad de un fluido por virtud de la cual ofrece resistencia al corte. De todas las propiedades de los fluidos, esta requiere la mayor consideración en el estudio del flujo de fluidos (Streeter L, 1996).

Leonardo da Vinci (1452-1519), propuso una ecuación de continuidad para flujos unidimensiona-

¹Profesor de tiempo completo y encargado del Laboratorio de Hidráulica. Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas. Email: jpinto19711@hotmail.com.

² Profesor-investigador de tiempo completo. Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas. Email: alfa@unach.mx

³ Estudiante de Ingeniería. Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas.

les. En sus notas dejó descripciones muy reales sobre la teoría de chorros, formación de torbellinos, olas, resaltos hidráulicos, etc.; pero se le atribuye a Isaac Newton (1642-1727) la formulación de las leyes generales del movimiento y la relación lineal de resistencia viscosa para los fluidos newtonianos (la mayoría de los líquidos y los gases). Diez años antes de que Gluglielmini (1655-1710), Newton había cuantificado el efecto viscoso sobre las paredes de los recipientes con el objeto de modelar el movimiento de un vórtice; y lo había hecho postulando que la resistencia que resulta de la falta de deslizamiento entre partículas de un fluido es, en igualdad de otras condiciones, proporcional a la velocidad con la cual las partículas mismas se separan unas de otras. (Levi E, 2001).

La medición de la viscosidad es sin duda de mucha importancia para el estudio de los fluidos. Existen en el mercado diversos instrumentos que van desde los que tienen componentes sencillos hasta aquellos que incluyen elementos digitales con sensores adaptados a interfaces con las computadoras personales. En este trabajo se presenta un prototipo de un viscosímetro rotacional (VR) que fue diseñado por un grupo de alumnos que cursaron la materia de mecánica de fluidos en la facultad de Ingeniería de la UNACH, los resultados que se obtuvieron fueron comparados con un viscosímetro comercial rotacional modelo Stabinger de la marca, Thermo Haake; donde se consideró una temperatura constante de 25 °C, para la toma de datos se usó un método de prueba estándar (STM, por sus siglas en inglés) basada en los resultados obtenidos en ensayos múltiples obtenidos por la misma persona. A este respecto se observó que aún se debe trabajar para mantener una velocidad angular constante del cilindro además que se aprecia un ligero cambio en la viscosidad después de que el cilindro gira por un largo periodo, esto se debe principalmente a que la fricción producida cambia la temperatura del líquido.

Formulación matemática

Haciendo referencia a la figura (1) y teniendo en cuenta la ley de Newton de la viscosidad:

$$\tau = \mu \nabla v$$

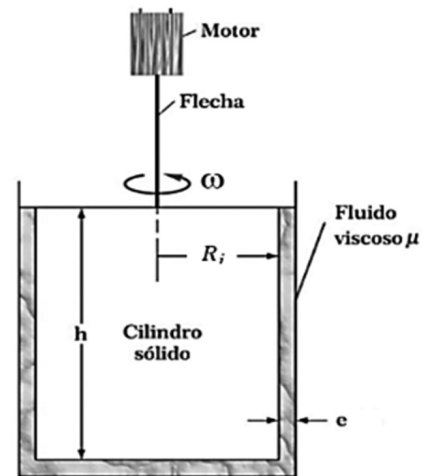


Figura 1. Diagrama básico del viscosímetro

cuya forma unidimensional será:

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \quad (1)$$

Donde:

τ : Esfuerzo cortante.

μ : Viscosidad dinámica.

dv/dy : Gradiente de velocidad.

Puesto que el cilindro experimenta un momento de giro, es necesario hacer uso de la relación:

$$v = \omega R_i \quad (2)$$

Donde:

ω : Rapidez angular $[\frac{rad}{seg}]$.

R_i : Radio del cilindro interior que está en contacto con el líquido.

Al considerar que $\tau = \frac{dF}{dA}$ y sustituyendo (2) en (1), se obtiene la expresión para la fuerza en términos diferenciales:

$$dF = \mu \frac{\omega R_i}{e} dA$$

Donde e es el espesor de la película de aceite.

Al integrar ambos miembros de la ecuación puede observarse que la expresión solo es una función que depende del área que está en contacto con el líquido

$$F = \mu \frac{\omega R_i}{e} \int dA \quad (3)$$

Para el caso de la pared lateral.

$$dA = 2\pi R_i dh \quad (4)$$

Ya que el par motor se define como:

$$dM = R_i dF \quad (5)$$

Sustituyendo (4) y (5) en (3), se tiene la ecuación del momento lateral:

$$M_L = \frac{2\pi\mu\omega R_i^3 h}{e} \quad (6)$$

Del mismo modo; para la base del cilindro interior:

$$dA = 2\pi R_i dR_i$$

Conduce al momento en la base

$$M_B = \frac{\pi\mu\omega R_i^4}{2e} \quad (7)$$

El momento total es:

$$M_t = M_L + M_B \quad (8)$$

Y despejando μ del momento total, se tiene la expresión que define a la viscosidad en el sistema:

$$\mu = \frac{M_t e}{2\pi\omega R_i^3 \left(h + \frac{R_i}{4}\right)} \quad (9)$$

Esta ecuación define la viscosidad del fluido en términos de cantidades conocidas y puede notarse que no incluye a la temperatura; sin embargo es una variable que se encuentra implícita en el fenómeno en estudio y tiene fuerte implicación en la velocidad de giro del cilindro sólido. (Brian C, 2014).

Materiales y método

El prototipo fue construido con acero inoxidable debido a que este material presenta las siguientes ventajas: resistencia a la corrosión, fácilmente mecanizable, alta resistencia mecánica y excelentes propiedades higiénicas.

El prototipo incluye un elemento hueco al cual se adapta un cilindro cuyo eje está conectado al motor síncrono. Entre ambos cilindros existe una pequeña holgura que ha de ser ocupada por el líquido de prueba. En la figura (2) puede verse la forma como van acoplados ambos cilindros.

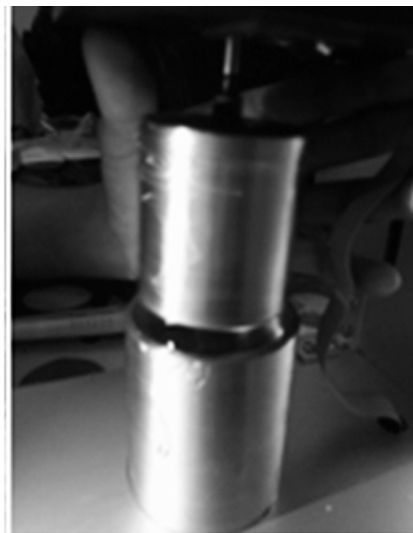


Figura 2. Acoplamiento del cilindro interior y exterior.

Una dificultad en el montaje del sistema cilindro-eje fue el efecto de cabeceo al momento de acoplar el motor. Para eliminar y evitar afectaciones en la medición, se adaptaron chumaceras y un mini mandril, lo que permitió tener mayor estabilidad en el momento de giro y lograr una velocidad angular con fluctuaciones de ± 0.02 en las mediciones de esta variable.

Para el registro electrónico de los datos se requirieron los elementos mostrados en la figura (3) para adaptarlos al circuito integrado en la figura (4).

Para que el VR sea capaz de recolectar e interpretar datos para el cálculo de la viscosidad, se usó un micro-controlador y una interfaz, se empleó además un procesador de programación arduino con interfaz de arduino/genuino mega 2560. El Arduino, es una plataforma de hardware libre que permite leer y procesar los datos registrados por el sensor de velocidad angular e imprimir el valor de la viscosidad en la pantalla LCD.

El sensor se usa para conocer la variación de la velocidad angular del motor de corriente directa de 5 V al cual se le adaptó un disco perforado unido al eje, que le sirve al sensor para contar las interrupciones, es decir que al girar, el orificio del disco pasa por la ranura del codificador rotatorio (encoder) que será el dispositivo encargado de convertir la posición angular del eje a un código digital por medio de un pulso digital en el pin D0 en el rango de 0 a 5 Volts, el optointerruptor capta esta información y el arduino procesa este dato. De esta manera se obtienen las revoluciones por minuto de dicho motor. En la figura (5) se observan las partes del sensor, el cual es responsable de contabilizar el número de veces que pasa la ranura del disco a través del sensor e indica las revoluciones por segundo con que gira el conjunto eje-cilindro, ese detalle puede observarse en la figura (6).

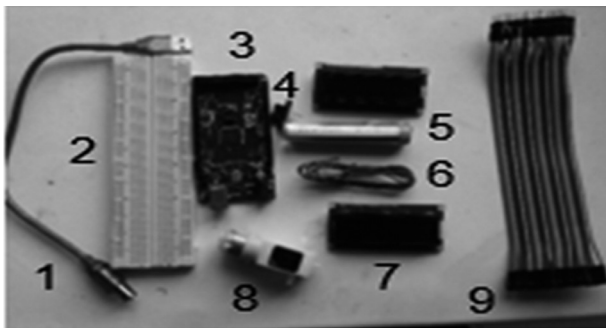


Figura 3. 1. Cable flexible USB 2. Placa de pruebas. 3. Arduino Mega. 4. Optointerruptor. 5. Estaño. 6. Cable estañado 7. Pantalla LCD. 8. Motor DC de 5V. 9. Jumper macho-hembra.

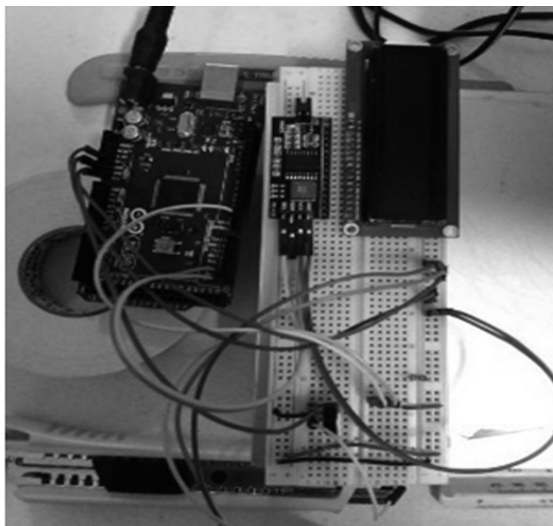


Figura 4. Ensamble de los componentes

En la figura (7) se observan detalles de la forma en que está conectado el sensor con el arduino, el conjunto de ambos elementos es imprescindible en la interpretación del dato de la velocidad angular.



Figura 5: 1. Optointerruptor. 2. Luz LED de alimentación. 3. LM393. 4. LED de datos (b) Adaptación del conjunto en el prototipo.

Para el diseño final se adaptaron barras de acrílico en el soporte del motor las cuales permiten absorber las vibraciones ocasionadas por el giro al momento del arranque del motor. Se implementó un sistema de rieles que consta de cuatro tornillos ajustables, con la finalidad de facilitar el descenso del soporte móvil y conservar un nivel fijo al momento de la medición. Finalmente el acabado del prototipo fue en aluminio, ya que facilita su limpieza y contribuye en la estética y presentación del mismo. En la figura (8) se aprecian los últimos ajustes necesarios para su correcto funcionamiento.

En la figura (9) se aprecia el diseño final del prototipo (VR).

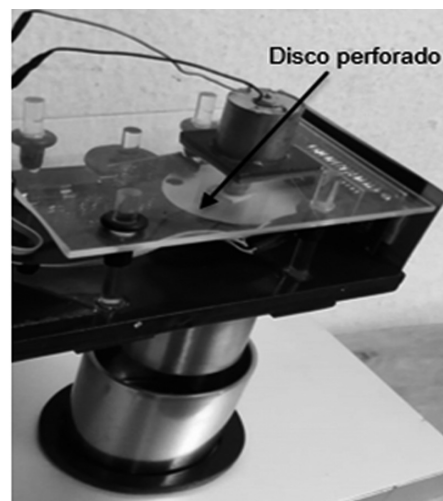


Figura 6: Lectura del sensor al pasar la ranura del disco

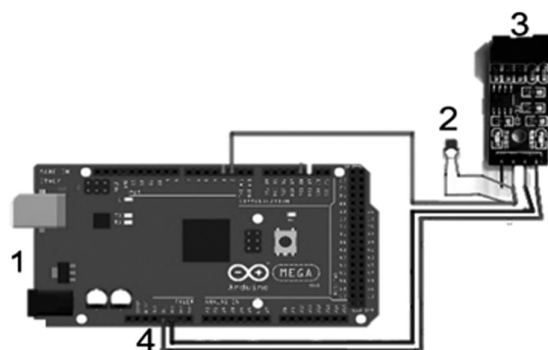


Figura 7: Diagrama de conexión arduino-sensor.
1. Arduino. 2. Resistencia 220 Ohm 10 % resistencia. 3. Sensor. 4. Jumper.

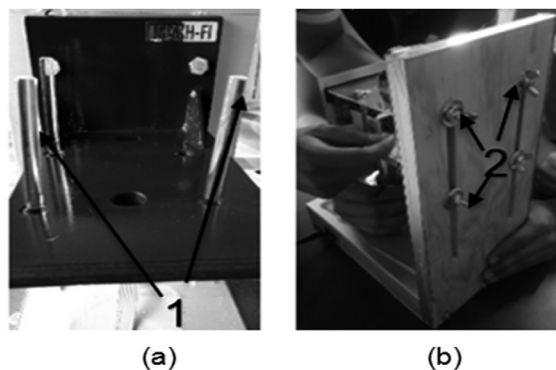


Figura 8. (a) 1. Barras estabilizadoras de acrílico. (b) 2. Acoplamiento de rieles.

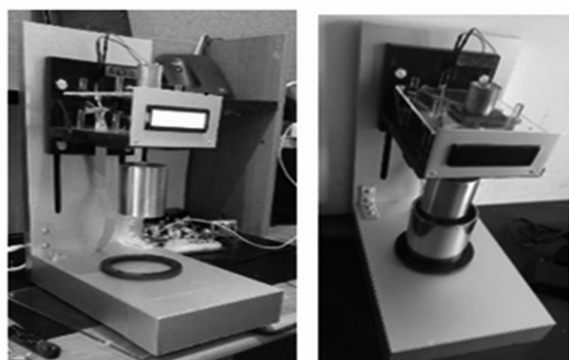


Figura 9. Imagen del prototipo terminado.

RESULTADOS

La validación de los resultados del prototipo consistió en comparar los valores de las viscosidades de los líquidos de referencia con los calculados con los modelos Stabinger y VR. Las fuentes de incertidumbre consideradas en la repetitividad de las mediciones fueron principalmente, el observador (responsa-

ble de la toma de datos), condiciones internas del laboratorio, la velocidad de giro del instrumento y el tiempo de duración de la prueba, a fin de controlar la temperatura la cual tiene una fuerte influencia en la viscosidad de los líquidos. Un aumento en la temperatura resulta una disminución de la viscosidad y viceversa (es una propiedad de los líquidos). Según Simón G. R (2009), la diferencia de temperaturas entre una medición y otra no debe superar los 0.50C. La estimación de la incertidumbre se basó en el método propuesto por la Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (1995) y en Schmid W., Lazos (2000). Los resultados obtenidos, se presentan en la tabla (1).

Tabla 1. Porcentaje de error al comparar las viscosidades dinámicas con el modelo VR. 4Valores tomados en (Langer's Handbook of Chemistry, 1999).

Líquido de referencia	$\mu_{referencia} (Pa.s)$	$\mu_{mod VR} (Pa.s)$	% Error
Miel Karo ¹	2.248	2.200	2.135
Glicerina ¹	0.858	0.804	6.293
Aceite SAE 5W-20 ¹	0.070	0.073	4.286

Tabla 2. Porcentaje de error al comparar las viscosidades dinámicas con el prototipo VR. Valores tomados del viscosímetro Stabinger.

Líquido de referencia	$\mu_{Stabinger} (Pa.s)$	$\mu_{mod VR} (Pa.s)$	% Error
Miel Karo	2.264	2.200	2.826
Glicerina	0.860	0.804	6.511
Aceite SAE 5W-20	0.076	0.073	3.947

En la tabla (2) se presentan los resultados experimentales con el modelo VR y los obtenidos con los dispositivos comerciales.

En la figura (10) se muestran los resultados obtenidos con el viscosímetro Stabinger y el prototipo VR.

DISCUSIÓN

Se observa que existe un error ligeramente apreciable al comparar los datos de las viscosidades obtenidas en la experimentación. En todo el proceso de



Figura 10. Valores obtenidos con el viscosímetro Stabiger y los obtenidos con el modelo VR.

medición se controla una temperatura constante de 25 °C. Como puede notarse en los resultados de la Tabla 1, es en la glicerina donde se observa el mayor error, y esto se debe posiblemente a efectos de adherencia de dicha sustancia a las paredes del cilindro. Se aprecia un efecto singular al experimentar con líquidos muy viscosos, y es que al llenarse el cilindro e iniciar el movimiento de giro; se debe esperar que el movimiento se estabilice hasta lograr una velocidad constante. Contrario a esto, se observó que en líquidos poco viscosos como el agua y alcohol existe un pequeño derrame de líquido al inicio de la prueba, efecto que es controlado considerando evitar llenar por completo el depósito.

Lo anterior, sugiere que debe existir un control al momento de realizar cada uno de los ensayos en el que es necesario cuidar la cantidad de sustancia y el nivel de descenso del cilindro interior, además de considerar también los efectos que la temperatura tendrá en el instante de la prueba de manera que estas se realicen bajo las mismas condiciones o en su caso realizar las estimaciones correspondientes para valores de la viscosidad a diferentes temperaturas; esta apreciación podrá resolverse en futuras investigaciones.

CONCLUSIÓN

Hay que tener en consideración que la viscosidad dinámica es el parámetro de interés en el estudio de los fluidos viscosos pero que en algunos casos y en ciertos tipos de viscosímetros se suele emplear la viscosidad

cinemática, ambas viscosidades están relacionadas en función de la densidad relativa. Si la viscosidad y la densidad específica son dinámicas, pero solo una es medida, se producirá un error, y la viscosidad cinemática no proporcionará una valoración precisa del cambio de la viscosidad absoluta del fluido, que es el parámetro de interés. El tamaño del error está en función del tamaño del cambio en el parámetro que no se mide, la densidad específica del líquido que tiene un ligero cambio debido a los efectos de fricción que se producen al interior del fluido. Al respecto, el criterio simple en la reproducibilidad de la medida fue una incertidumbre de 0.50C en el valor de la temperatura.

El VR ha sido construido para que pueda ser de fácil uso y manejo, fue diseñado y reunió la mayoría de los criterios y requisitos establecidos en la planeación de su construcción. La implementación con Arduino permite visualizar los resultados en la pantalla; queda aún pendiente incorporar elementos que controlen la temperatura.

Este trabajo representa un primer esfuerzo en la construcción de un dispositivo para medir la viscosidad, es la puesta en marcha de la creatividad y el interés de los alumnos por entender la teoría a través de la experimentación.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no habría sido posible sin el entusiasmo y dedicación de los alumnos en tiempo y esfuerzo para hacer realidad el sueño de haber ganado el primer lugar en el concurso de creatividad que organiza la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas.

REFERENCIAS

- Brian Cherrington & Jack Rothstein. (2014). Building and Validating a Rotational Viscometer. Mechanical Engineering, 1,5. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, PIPM,IEC,IFCC, ISO, IUPAP, IUPAC, OILM (1995)
- Jonh A. Dean. (1999). Lange's Handbook of Chemistry. México: Mcgraw-Hill, Inc.
- Levi E. (2001). El agua según la ciencia. México: AMH IMTA.
- Streeter L. Victor, Wyle Benjamin E. (1996). Mecánica de los Fluidos. México, D.F: McGraw-Hill/Interamericana De España, S.A de C.V.
- Schmid W., Lazos Ruben. Guía para estimar la incertidumbre de la medición. Abril 2000. (Guía CNM)
- Simón González Roldán. (2009). Diseño mecánico de un equipo para medida de la viscosidad en fluidos no newtonianos. Cartagena, España: I.T.I. Esp. Mecánica.