

*Modelo experimental para estimar la  
viscosidad de fluidos no newtonianos: ajuste  
a expresiones matemáticas convencionales*  
*Experimental model for non-Newtonian fluid  
viscosity estimation: Fit to mathematical  
expressions*

Guillem Masoliver i Marcos, Modesto Pérez-Sánchez, P. Amparo López-Jiménez  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  
guimaim@upv.es, mopesan1@upv.es, palopez@upv.es

---

**Abstract**

*En el presente artículo se detalla el proceso de construcción de un viscosímetro desarrollado en colaboración con un alumno de proyecto final de carrera de ingeniería, para que los alumnos de primeros cursos conozcan la naturaleza de diferentes fluidos a través de la viscosidad de flujos newtonianos y no newtonianos. La determinación de la viscosidad es fundamental para conocer el comportamiento de los fluidos en cuanto a sus propiedades físicas y reológicas, con grandes implicaciones en aspectos de ingeniería como la fricción o su capacidad de lubricación. Con el presente desarrollo, se propone a los alumnos una metodología para caracterizar la viscosidad de tres fluidos (agua, ketchup y maicena líquida) de diferente naturaleza, basado en un desarrollo experimental que permite conocer el esfuerzo cortante frente a la velocidad de deformación realizada sobre los mismos, bajo diferentes condiciones térmicas. Finalmente se aplica un ajuste matemático sencillo a las funciones que representan dicha viscosidad encontrando un buen ajuste para las mismas, con un  $R^2$  mayor que 0.88 en todos los casos.*

*The construction process of a viscometer, developed in collaboration with a final project student, is here presented. It is intended to be used by first year's students to know the viscosity as a fluid property, for both Newtonian and non-Newtonian flows. Viscosity determination is crucial for the fluids behavior knowledge related to their reologic and physical properties. These have great implications in engineering aspects such as friction or lubrication. With the present experimental model device three different fluids are analyzed (water, ketchup and a mixture with cornstarch and water). Tangential stress is measured versus velocity in order to characterize all the fluids in different thermal conditions. A mathematical fit process is proposed to be done in order to adjust the results to expected analytical expressions, obtaining good results for these fittings, with  $R^2$  greater than 0.88 in any case.*

---

Keywords: Fluid mechanics, viscosity, non Newtonian fluid, experimental modelling.

Palabras clave: Mecánica de fluidos, viscosidad, Fluido no newtoniano, Modelo experimental.

## 1. Introducción y objetivos

El estudio de la viscosidad de un fluido y sus propiedades es una tarea compleja y sin embargo imprescindible para conocer el comportamiento completo de los mismos, por la gran aplicabilidad que tiene su conocimiento.

Sin embargo, la medida de la viscosidad no es sencilla, debido a que no tiene una medición directa como otras magnitudes, tales como la masa o la fuerza. La complejidad de su medición radica, entre otros motivos, en la necesidad de obtener datos empíricos indirectos si se pretende obtener valores numéricos. Una de las formas más habituales de caracterizar la viscosidad de los fluidos (particularmente aquellos que tienen un comportamiento Newtoniano), es el viscosímetro de tipo Saybolt, basado en el tiempo que un fluido atraviesa un orificio entre volúmenes calibrados (Coba Salcedo et al., 2013). Sin embargo, en la mayoría de casos, las mediciones se encuentran bajo diseños muy predeterminados en que las unidades se ligan a los propios viscosímetros. Así pues, el conocimiento de la viscosidad en sus diferentes formas, su afección sobre los procesos de lubricación, la determinación de los regímenes laminares y turbulentos en los flujos, o su influencia en la determinación de las pérdidas de carga, forma parte de las disciplinas de mecánica de fluidos impartidas en los primeros cursos de prácticamente todos los currícula de ingeniería, en el paradigma mundial.

Así pues, la asignatura de mecánica de fluidos ha estado presente en los primeros cursos de carreras de ingeniería y se sigue manteniendo en los primeros cursos de grado, al principio de los planes de estudio, normalmente estructurada en cursos de segundo y tercero, como continuación de las asignaturas de física y matemáticas, ya que éstas últimas son necesarias para cursar mecánica de fluidos.

Dentro de la materia, la primera unidad didáctica versa sobre las propiedades de los fluidos. En esta unidad, se describen las diferentes propiedades por las cuales queda definido un fluido, entre las cuales la viscosidad es la propiedad más importante que define un fluido en movimiento. Por ello, dos de los principales resultados de aprendizaje de esta primera unidad didáctica son conocer los parámetros de un fluido y aplicar estas propiedades en la caracterización de los mismos. La gran diversidad de fluidos industriales y de uso más doméstico que se encuentran a disposición de los alumnos, hace que se ponga de manifiesto la importancia de conocer esta diversidad. En los fluidos newtonianos, la viscosidad es una constante que prácticamente depende únicamente de la temperatura, mientras que, en los no newtonianos, el propio movimiento del fluido afecta a la viscosidad, adoptando ésta, valores cambiantes conforme lo hace la velocidad y el esfuerzo cortante (Méndez-Sánchez et al, 2010).

Un análisis completo del comportamiento de los fluidos tanto newtonianos como no newtonianos requiere de la disposición de viscosímetros y reómetros en ocasiones caros o difíciles de mantener. En este sentido, la propuesta de un dispositivo experimental como el que aquí se presenta, es interesante para los alumnos, porque les permite conocer parámetros que relacionan el comportamiento viscoso de diferentes fluidos, favoreciendo su propia creatividad y habilidades tecnológicas.

Finalmente, trabajos como el que se presenta en este documento, ponen en valor el proyecto de las competencias transversales a alcanzar en universidades, como la Politècnica de València (UPV, 2015) puesto que en el mismo, han sido trabajadas las siguientes competencias: CT-2. Aplicación y pensamiento práctico; CT-4. Innovación, creatividad y emprendimiento, CT-5. Diseño y proyecto y CT-13. Instrumental específica a un nivel III de dominio.

En consecuencia, en el presente estudio se describe un dispositivo y un procedimiento (diseñados con la colaboración de un alumno de último curso de ingeniería), capaz de proponer a

estudiantes de primeros cursos, un experimento que ponga de manifiesto la diferente naturaleza viscosa de los fluidos, correlacionando parámetros propios del esfuerzo cortante frente a la deformación de la velocidad que caracteriza esta propiedad, con diferentes temperaturas.

## 2. Marco Teórico

Un fluido se define como una sustancia que presenta una deformación continua ante un esfuerzo cortante (todos los líquidos y gases entre otros). La relación de proporcionalidad entre el esfuerzo cortante aplicado y el gradiente de velocidades que presentan las partículas del fluido, se conoce como viscosidad y es el parámetro que estudiaremos a continuación (White, 2008).

Supongamos una porción de fluido con sección rectangular con superficie libre (no confinado). En dicha superficie libre colocamos una lámina, la cual transmitirá sobre el fluido un esfuerzo cortante, si un agente externo aplica una fuerza en dirección paralela a la superficie libre del fluido. Al actuar dicho esfuerzo cortante, aparecerá un gradiente de velocidades en el fluido, siendo la velocidad de la lámina igual a la de las partículas en contacto con ella (condición de adherencia) como se aprecia en la Figura 1.

La viscosidad es la propiedad del fluido en movimiento, por la cual éste ofrece resistencia a las tensiones de cortadura. Se define como la relación entre el esfuerzo cortante aplicado y el gradiente de velocidades. Esta propiedad podría compararse con la fricción en el caso de los sólidos. La viscosidad depende de varios factores; el nivel de cohesión de las partículas del fluido (que puede ser variable) y la temperatura (inversamente proporcional), entre otros (Streeter, 1963).

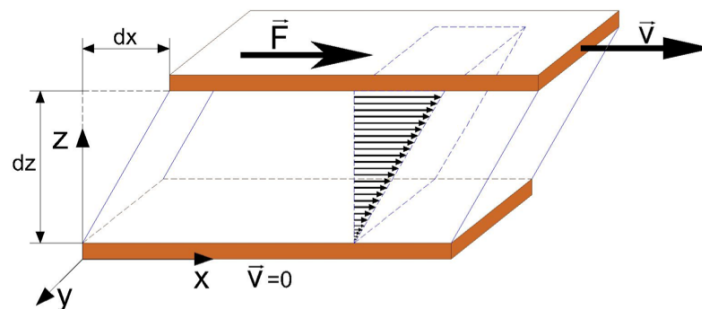


Figura 1: La viscosidad definida desde la visión de Newton. Fuente: elaboración propia.

Se distingue entre fluidos newtonianos y no newtonianos en base a la linealidad de la relación entre el gradiente y el esfuerzo aplicado. Los fluidos newtonianos siguen Expresión (1):

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

donde  $\tau$  es el esfuerzo cortante,  $\mu$  la viscosidad y  $\frac{dv}{dz}$  el gradiente de velocidades que se crea paralelo a las superficies de contacto. Una primera clasificación de los fluidos en función de la viscosidad, permite definirlos en fluidos newtonianos, aquellos que su viscosidad es constante y por tanto, la relación entre el esfuerzo cortante y gradiente de velocidad es lineal; y fluidos no newtonianos, en los cuales su viscosidad no es constante y varía en función del esfuerzo cortante aplicado. Dentro de los fluidos no newtonianos se encuentran los fluidos pseudoplásticos y dilatantes. En la Figura 2, se muestran las curvas tipo “Esfuerzo cortante vs Gradiente de Velocidad” que definen dichos fluidos en función de su naturaleza (Streeter, 1963; White, 2008).

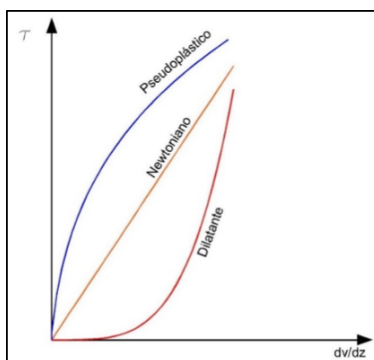


Figura 2: Expresiones gráficas convencionales de la clasificación tradicional de los fluidos según su viscosidad. Fuente: elaboración propia.

La Ecuación (1) definida anteriormente, presenta un caso particular de la ley de potencias que define la viscosidad de un fluido de forma genérica, independientemente de la naturaleza del mismo. Dicha ley de potencias se enumera en la Ecuación (2) —Streeter, 1963—:

$$\tau = K \left( \frac{dv}{dz} \right)^{n-1}, \quad (2)$$

donde los parámetros  $K$  y  $n$  son el índice de consistencia y el índice de comportamiento del flujo, respectivamente. Si el exponente  $n$  de la ecuación es menor que la unidad se denomina flujo pseudoplástico, es decir la viscosidad disminuye cuando aumentamos la velocidad de deformación. Este es el caso de la mayoría de los fluidos, entre ellos los alimentos como zumos o salsas (ketchup). El movimiento de este tipo de fluidos viene acompañado de un perfil de velocidades aplanado, similar a los turbulentos. En el caso de valores de  $n$  mayores que la unidad, el fluido se denomina dilatante. Estos son menos frecuentes, es el caso del almidón de maíz, donde el perfil de velocidades suele presentarse de forma cónica.

Este modelo (ley de potencia) presenta la limitación de ser solo aplicable en ciertos rangos de velocidad, también la dependencia de  $K$  con  $n$  impide la comparación de fluidos que presentan una  $K$  diferente. A bajos gradientes se comporta de forma newtoniana y a medida que aumenta este la viscosidad aparente tiende a un valor finito conocido como viscosidad aparente, para altos esfuerzos tangenciales. Estos dos fluidos anteriormente mencionados serán en los que se centra el documento a la hora de realizar la aplicación práctica.

### 3. Modelado experimental de la viscosidad: Diseño del viscosímetro

Entre la gran variedad de viscosímetros comerciales, se pueden mencionar (Bourne, 2002):

- 1) Viscosímetros capilares: en los que el fluido atraviesa un volumen calibrado a través de un tubo de longitud y diámetro conocidos, sometido a presión constante, midiendo el tiempo, se obtiene la viscosidad.
- 2) Viscosímetros análogos: se forman con un disco o un cilindro que se encuentra suspendido y gira por la acción de un motor sincrónico. La lectura de la medida del nivel de viscosidad se expresa por una serie de medidas grabadas en el disco, una variante de estos últimos es el viscosímetro digital, el cual utiliza un microprocesador para obtener valores muy exactos.

- 3) Viscosímetro coaxial: consta de dos cilindros, uno interno y otro externo. Los viscosímetros de cilindros coaxiales permiten realizar la medida de la viscosidad absoluta de un fluido. Será este último en el que este inspirado este dispositivo, al ser el que posee el principio de funcionamiento más sencillo de implementar.

### 3.1. El diseño experimental

El viscosímetro diseñado (Figura 3) consta de dos elementos, el primero, un recipiente cilíndrico calibrado de 3000 ml de capacidad, donde se introducirá el fluido que se pretende ensayar. El segundo consiste en un embolo que, a su vez, está constituido por dos piezas. La primera ellas es un elemento hueco cilíndrico (con el fin de que mantenga una dirección paralela al eje de simetría del recipiente), esta sellado por uno de los extremos donde existen cuatro agujeros de diámetro conocido (20 mm), por los que el fluido circulará. Esta pieza está conectada con una pieza plana superior, con cuatro soportes (varillas roscadas), en la cual se coloca la masa necesaria para generar el esfuerzo cortante.

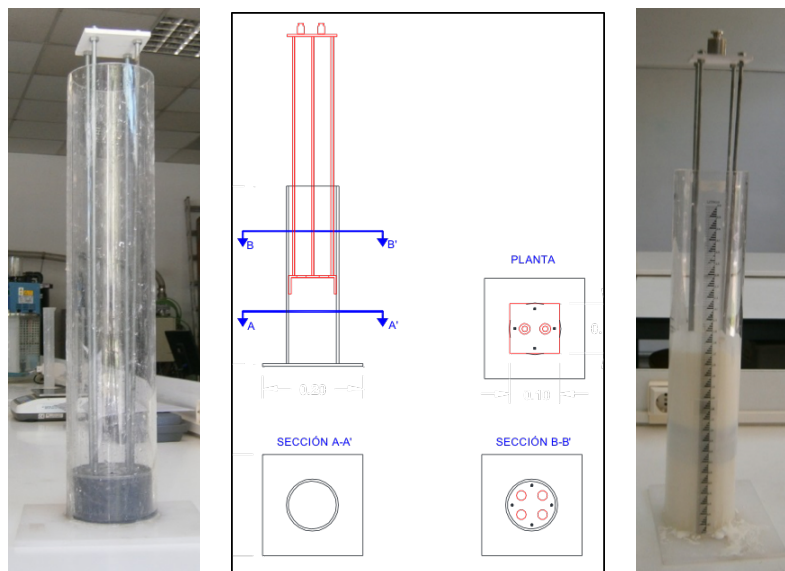


Figura 3: Viscosímetro sin fluido (Izquierda), esquema de viscosímetro (Centro) y Viscosímetro con fluido (Derecha). Fuente: elaboración propia.

El principio de funcionamiento del viscosímetro es:

1. Con el viscosímetro lleno del fluido (Figura 4) objeto de la experiencia, se aplica una fuerza determinada, colocando una masa definida sobre la estructura plana. La fuerza se verá incrementada por el peso del fluido a medida que el embolo desciende, considerando el estado dinámico (no reposo) del sistema. Por tanto, la fuerza total aplicada al fluido es igual a la masa media del fluido, la masa colocada en forma de pesas sobre la plataforma y la masa de la propia estructura (émbolo) del viscosímetro (500 gr).
2. Calcular el tiempo tarda el embolo en caer (con ayuda de un cronómetro), obteniendo la velocidad de caída promedio.
3. Determinar la velocidad media de descenso del embolo, conocida la carrera del mismo (0.37 m). La velocidad del fluido, por condición de adherencia, puede aproximarse a la velocidad de traslación del embolo. En nuestro caso analizado, el régimen del fluido se

considera turbulento (como ejemplo, el número de Reynolds para el caso del experimento con agua oscila entre 4151 y 7563). En caso de que fuese régimen laminar, se debería aplicar el coeficiente de Coriolis para usar la velocidad media (White, 2008).

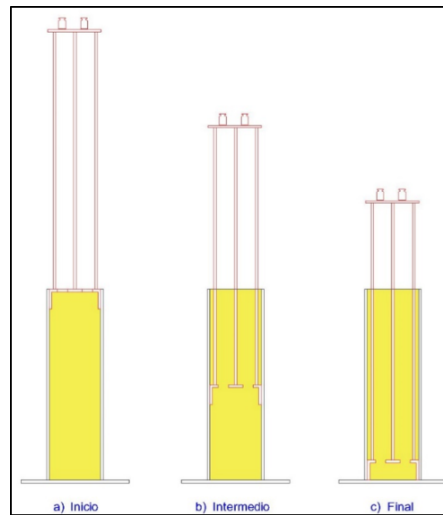


Figura 4: Fases de movimiento del embolo. Fuente elaboración propia.

4. Conocida masa (por tanto es conocida la fuerza) y conocida el área de contacto del fluido con el embolo, se puede determinar el esfuerzo cortante medio al cual se ve sometido el fluido. Por otro lado, como se puede determinar la velocidad, conocida la distancia que recorre el embolo y el tiempo que tarda en recorrerla, se obtiene una pareja de resultados (fuerza vs velocidad).
5. Repitiendo el proceso de 1 a 4, se podrán obtener más parejas de datos para determinar la naturaleza del fluido, aplicando fuerzas distintas y determinado velocidades diferentes.

Aunque en el caso de fluidos newtonianos con dos puntos sería suficiente, en todos los casos se obtendrán el mayor número de pares de datos posibles para posteriormente su representación gráfica.

Para controlar la temperatura, el viscosímetro se introducirá en un recipiente con agua con una resistencia eléctrica y un termómetro (para conseguir una temperatura constante). En dicho recipiente, se instalará una bomba de circulación para que el baño mantenga una temperatura uniforme.

### 3.2. Determinación del esfuerzo cortante y la velocidad

Para poder analizar el esfuerzo cortante, además del peso, se debe tener en cuenta el área de contacto, de ese fluido con el embolo. Esta superficie, viene definida por la Expresión (3):

$$A = x \ 2\pi r h, \quad (3)$$

donde  $r$  es el radio del orificio,  $h$  es el espesor del embolo y  $x$  es el número de agujeros en el embolo. En nuestro caso,  $r$  es igual a 10 mm;  $h$  es igual a 2 mm y  $x$  es igual a 4.

En cuanto a la velocidad media, se obtiene dividiendo el espacio recorrido por el embolo (0.37 m) por el tiempo obtenido. El valor obtenido de la velocidad, se tratará como un valor medio, que asumirá un perfil de velocidades definido para cada caída. Este perfil de velocidades,

se aproximará a un perfil de velocidades parabólico, en el cual la velocidad en los bordes del orificio será nula (por la condición de adherencia) y en el centro alcanzará la velocidad máxima (Streeter, 1963; White, 2008).

### 3.3. El procedimiento de registro de parámetros

El proceso del experimento será el siguiente: con la ayuda del viscosímetro explicado anteriormente se obtendrán las gráficas de viscosidad de tres fluidos con características diferentes. Los fluidos a utilizar serán: agua (newtoniano), salsa ketchup (no newtoniano pseudoplástico) y harina de maíz con agua (no newtoniano dilatante).

Introducido el fluido en el viscosímetro se obtendrán 10 puntos, aumentando la masa aplicada en 100 gramos cada vez, comenzando por 500 gr, por ser está la masa del embolo. Obtenidos los puntos, se podrá obtener una aproximación de la curva de cada fluido y la compararemos con la real para verificar la utilidad del dispositivo. Este proceso se repite tres veces por sustancia analizada a tres temperaturas diferentes. Las temperaturas elegidas son 20, 25 y 28 grados centígrados. Los valores obtenidos son adjuntados a continuación en Tabla 1, Tabla 2 y Tabla 3.

FLUIDO: AGUA			
Esfuerzo Cortante medio ( $N/m^2$ )	Velocidad media ( $m/s$ ) $T = 20^{\circ}C$	Velocidad media ( $m/s$ ) $T = 25^{\circ}C$	Velocidad media ( $m/s$ ) $para T = 28^{\circ}C$
33759.43	0.183	0.208	0.214
35711.06	0.200	0.220	0.230
37662.70	0.202	0.236	0.233
39614.34	0.215	0.239	0.259
41565.98	0.227	0.252	0.274
43517.61	0.243	0.274	0.282
45469.25	0.272	0.287	0.301
47420.89	0.316	0.303	0.314
49372.53	0.343	0.308	0.333
51324.16	0.336	0.333	0.359
53275.80	0.370	0.402	0.390

Tabla 1: Resultados registrados con el fluido agua.

La Tabla 2 presenta las mediciones para salsa ketchup.



FLUIDO: KÉTCUP			
Esfuerzo Cortante medio ( $N/m^2$ )	Velocidad media ( $m/s$ ) $T = 20^\circ C$	Velocidad media ( $m/s$ ) $T = 25^\circ C$	Velocidad media ( $m/s$ ) $para T = 28^\circ C$
49157.904	0.026	0.031	0.023
51109.541	0.039	0.036	0.046
53061.179	0.053	0.063	0.069
55012.816	0.087	0.090	0.076
56964.454	0.096	0.095	0.085
58916.091	0.111	0.124	0.099
60867.729	0.141	0.139	0.164
62819.366	0.154	0.199	0.197
64771.004	0.186	0.224	0.206
66722.641	0.220	0.248	0.306
68674.279	0.241	0.266	0.330

Tabla 2: Resultados registrados con el fluido ketchup

Finalmente, las mediciones registradas con la maicena, son las descritas en la Tabla 3.

FLUIDO: MAICENA			
Esfuerzo Cortante medio ( $N/m^2$ )	Velocidad media ( $m/s$ ) $T = 20^\circ C$	Velocidad media ( $m/s$ ) $T = 25^\circ C$	Velocidad media ( $m/s$ ) $para T = 28^\circ C$
40318.964	0.089	0.090	0.101
42270.601	0.096	0.092	0.105
44222.239	0.100	0.093	0.112
46173.876	0.102	0.098	0.121
48125.514	0.101	0.095	0.094
50077.151	0.094	0.094	0.098
52028.789	0.099	0.092	0.140
53980.426	0.097	0.091	0.136
55932.064	0.099	0.092	0.139
57883.701	0.093	0.091	0.138
59835.338	0.094	0.090	0.141

Tabla 3: Resultados registrados con el fluido maicena.

### 3.4. Fluidos experimentados

Los fluidos que han sido utilizados para demostrar el funcionamiento correcto del viscosímetro experimental han sido:

- Fluido 1. Agua. Fluido newtoniano, con una densidad media de  $996.2 \text{ kg/m}^3$  para  $28^\circ C$ .
- Fluido 2. Ketchup. Fluido no newtoniano pseudoplástico, con una densidad de  $1235 \text{ kg/m}^3$ .
- Fluido 3. Maicena. Fluido no newtoniano dilatante con una densidad en el ensayo de  $1273.3 \text{ kg/m}^3$

## 4. Resultados

A continuación, se adjuntan los resultados obtenidos con los pares de datos medidos para cada uno de los fluidos ensayados en las diez repeticiones.



### 4.1. Determinación de la naturaleza del fluido

En esta primera sección de resultados, tomando los resultados para una misma temperatura, en este caso  $28^{\circ}C$ , se representan gráficamente los pares de datos obtenidos para cada fluido, ajustando dichos puntos a una curva lineal (fluido newtoniano), curva potencial con exponente menor que la unidad (fluido no newtoniano pseudoplástico) y curva potencial con exponente mayor que la unidad (fluido no newtoniano dilatante).

En todos los casos los puntos representados son diez a excepción del fluido dilatante (maicena) que debido a su complejidad de manejo han tenido que desestimarse 2 pares de resultados cuando han sido procesados.

En el caso del agua, tal y como se muestra en la Figura 5, se obtiene un ajuste lineal con una correlación positiva ( $R^2$ ) igual a 0.888, justificando el viscosímetro experimental el comportamiento newtoniano del agua.

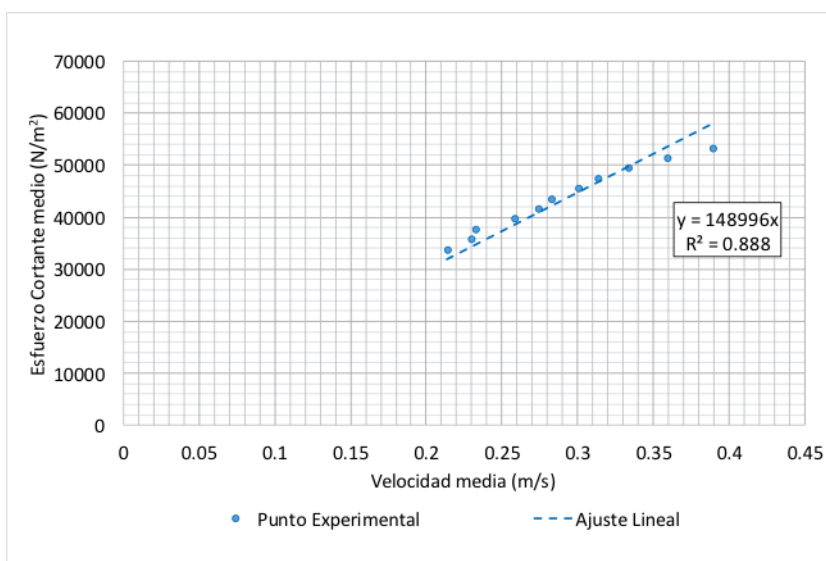


Figura 5: Resultados experimentales para el agua a temperatura igual a  $28^{\circ}C$ .

A continuación, se representa el ketchup, fluido no newtoniano de naturaleza pseudoplástica. Tal y como puede observarse en la Figura 6, los pares de datos obtenidos siguen una distribución potencial, clásica de fluidos pseudoplásticos. La ecuación potencial ajustada, presenta una correlación positiva de 0.964.

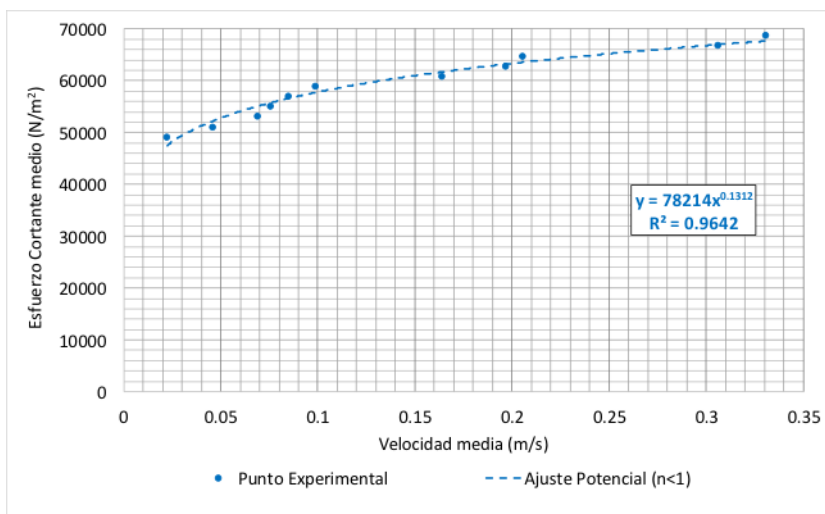


Figura 6: Resultados experimentales para el ketchup a temperatura igual a  $28^{\circ}\text{C}$ .

A continuación, se muestran gráficamente los resultados obtenidos en el caso de trabajar con la maicena. Tal y como se ha comentado anteriormente han tenido que desecharse algunos pares de datos, que han sido considerados anómalos, fruto de la dificultad de trabajar con los fluidos no newtonianos dilatantes. No obstante, el resultado obtenido de ajuste potencial con exponente mayor que la unidad es satisfactorio, tal y como se muestra en la Figura 7, con un índice de correlación positivo de 0.9643.

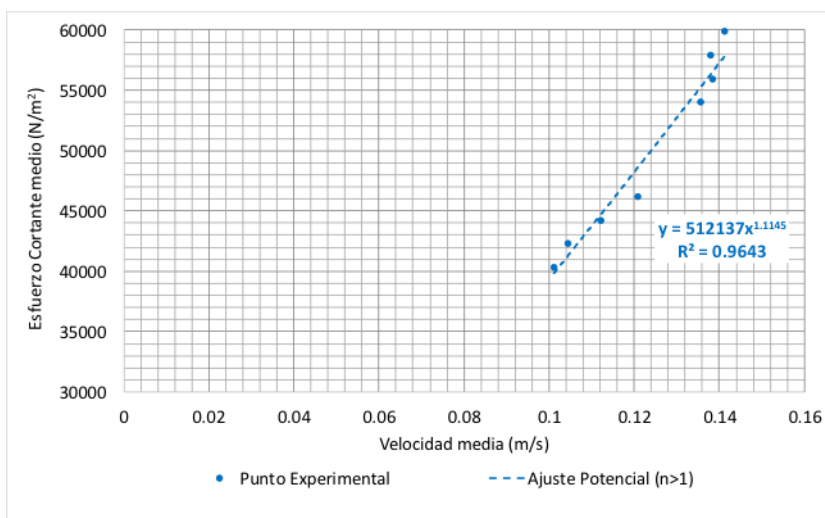


Figura 7: Resultados experimentales para la maicena a temperatura igual a  $28^{\circ}\text{C}$ .

A la vista de los resultados obtenidos en las Figuras 5, 6 y 7, se constata que el viscosímetro experimental preparado, es capaz de determinar la naturaleza del fluido con correlaciones positivas cercanas a la unidad, cuando se comparan las tendencias de los puntos medidos con las esperadas, tanto en fluidos newtonianos como no-newtonianos. Asimismo, el uso del viscosímetro tal como se presenta, permite determinar las viscosidades en términos absolutos, utilizando la expresión de Newton —Ecuación (1)— una vez se ha calibrado. En el caso de las mediciones realizadas con agua, la expresión para conocer la viscosidad viene definida por la Ecuación (4).

$$\mu_e = K_G \frac{\tau}{v}, \tag{4}$$

donde  $\mu_e$  es la viscosidad del agua en  $kg/(m\Delta s)$ ;  $K_G$  es una constante geométrica correctora del viscosímetro en  $m$ ;  $\tau$  es el esfuerzo cortante aplicado en  $N/m^2$ ; y  $v$  es la velocidad de caída del émbolo en  $m/s$ . Para el caso concreto del agua, el valor medio de  $K_G$  es igual a  $53.6\Delta 10^{-9} m$  con agua a temperatura de  $28^\circ C$ .

Utilizando la Ecuación (4) propia del aparato, para determinar el valor de la viscosidad dinámica del agua para  $20^\circ C$  y  $25^\circ C$ , se obtienen los valores mostrados en la Tabla 4. En esta tabla se muestra el error entre los valores para la viscosidad definidos por la literatura clásica (Mataix, 1993) y los obtenidos experimentalmente con el aparato descrito. Este error es menor al 2.4%, constituyendo un argumento para la validación del uso del aparato, dentro de unos márgenes de experimentación razonables.

Temperatura ( $^\circ C$ )	Viscosidad del agua ( $kg/ms$ ) (Mataix, 2009)	Viscosidad Experimental Ecuación (4)	Error Medio (%)
20	$89.1510^5$	$97.8510^5$	2.34
25	$83.4010^5$	$87.0410^5$	2.37

Tabla 4: Resultados obtenidos experimentalmente comparado con literatura clásica.

#### 4.2. Comprobación de la variación de la viscosidad con la temperatura

En esta sección de resultados, se representa la variación de la viscosidad en función de la temperatura. En la Figura 8, se representan gráficamente los resultados obtenidos para las tres temperaturas de ensayo del ketchup:  $20^\circ C$ ,  $25^\circ C$  y  $28^\circ C$ . En esta gráfica se puede apreciar la variación de la viscosidad del fluido, para un mismo esfuerzo cortante, en función de la temperatura a la cual se realiza el ensayo. Al igual que en los casos anteriores, la correlación obtenida es positiva y cercana a la unidad.

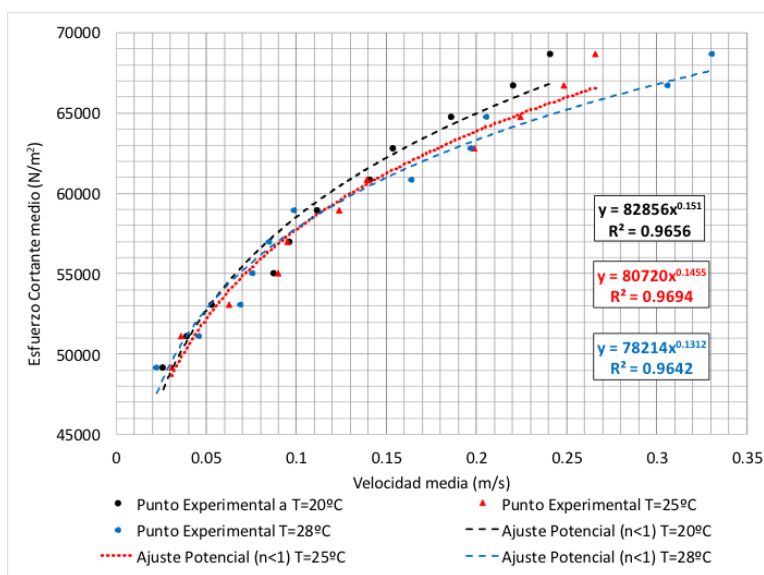


Figura 8: Resultados experimentales a diferentes temperaturas con el ketchup

## 5. Conclusiones








En vista de los resultados obtenidos, puede concluirse que el viscosímetro desarrollado en este trabajo es válido para determinar la naturaleza de un fluido. En la fase experimental se ha podido comprobar el buen funcionamiento para fluidos newtonianos, no-newtonianos pseudoplásticos y no-newtonianos dilatantes, constatando visualmente, como se manifiestan las propiedades del fluido no newtoniano al variar las cargas y la velocidad de deformación, obteniendo expresiones matemáticas de ajuste con una buena correlación positiva cercana a la unidad.

Dentro del proyecto institucional de la UPV de competencias transversales, el diseño de este viscosímetro, ha puesto en relieve que el alumno ha logrado alcanzar el nivel de desarrollo a nivel III de las competencias: CT-04 Innovación, Creatividad y Emprendimiento; CT-05 Diseño y Proyecto; y CT-13 Instrumental Específica de forma excelente. Trabajando estas competencias, el alumno que realice los ensayos logrará la integración de los conocimientos de las propiedades de los fluidos. La experiencia adquirida con este trabajo, invita a desarrollar experiencias similares en las que los alumnos desarrollen diferentes geometrías para la experimentación de la viscosidad. Por su amplia implementación, al ser parte de los contenidos curriculares de muchas de las titulaciones de ingeniería, es esta una actividad de gran aplicabilidad docente en el marco del proceso de aprendizaje de la mecánica de fluidos.

Entre los desarrollos futuros, el margen de mejora es muy amplio y puede llevarse a cabo en diferentes partes del sistema:

- a) En el propio diseño del aparato, eliminando el rozamiento entre el recipiente y las varillas del embolo del dispositivo, mediante unas poleas o guías que garanticen la entrada perpendicular del embolo a la base del recipiente. Esta mejora, disminuirá el número de fallos obtenidos en esta experiencia.
- b) Integrar un dinamómetro en el sistema que permita hacer mediciones con masas de fluido por debajo de 500 gr.
- c) Integrar en la carrera del embolo dos sensores de posición de inicio y final de carrera que automatizasen la adquisición de toma de datos, permitiendo disminuir los errores de medición.
- d) Ensayar los mismos fluidos con diferentes números de orificios y diámetro de los mismos, para analizar la influencia del diámetro del orificio y el número en la determinación de la curva “Esfuerzo Cortante vs Tasa de Deformación”.

## Referencias

-  Bourne M. (2002).  
*Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement*.  
Academic Press, London.
-  Coba Salcedo M. F., Ramirez Restrepo R., Ahumada Morales C. (2013).  
*Diseño y construcción de un viscosímetro Saybolt y su implementación como instrumento didáctico*.  
Scientia et Technica Año Año XVIII, Vol. 18, N. 2, 387–393.
-  Mataix C. (1993).  
*Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas*  
Segunda Edición. Ed. Del Castillo SA, Madrid.
-  Méndez-Sánchez A. F., Pérez-Trejo L., Paniagua Mercado, A. M. (2010).  
*Determinación de la viscosidad de fluidos newtonianos y no newtonianos (una revisión del viscosímetro de Couette)*.  
Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol. 4, No. 1, 237–245
-  Streeter V. L. (1963).  
*Mecánica de los Fluidos. (2 ed.)*  
Ediciones del Castillo SA, Madrid.
-  UPV 2015.  
*Plan estratégico UPV 2015-2020*.  
<http://www.upv.es/contenidos/PLAN2020/>
-  White F. M. (2008).  
*Fluid Mechanics. (6th. Ed.)*  
McGraw-Hill.

Modelling in Science Education and Learning  
<http://polipapers.upv.es/index.php/MSEL>