



# Caracterización del comportamiento reológico de un alimento fluido pseudoplástico

<b>Apellidos, nombre</b>	Talens Oliag, Pau (patalens@tal.upv.es)
<b>Departamento</b>	Tecnología de Alimentos
<b>Centro</b>	Universitat Politècnica de València

## 1 Resumen de las ideas clave

Estudiar el comportamiento reológico de un fluido, y por tanto caracterizar el mismo, tiene gran interés dentro del campo alimentario. Su estudio contribuye al conocimiento de la estructura del alimento siendo de gran utilidad para el desarrollo de nuevos productos, diseño y/o selección de equipos y procesos o control de calidad.

En el campo alimentario una gran cantidad de alimentos fluidos presentan comportamiento pseudoplástico (zumos concentrados de frutas, salsas, purés...). Este artículo se centra en la caracterización del comportamiento reológico de este tipo de alimentos.

## 2 Introducción

La reología se define como la ciencia que estudia los fenómenos de deformación y/o flujo producidos en un cuerpo al ser sometido a un determinado esfuerzo (fuerza por unidad de superficie) <sup>[1,2]</sup>.

Un cuerpo se considera un fluido cuando al aplicarle una fuerza se provoca un flujo del mismo, es decir, una deformación permanente. Como consecuencia de la resistencia a la fricción que el fluido en movimiento opone al esfuerzo cortante aplicado, se genera un gradiente de velocidad en el seno del fluido. La relación entre el esfuerzo aplicado y el gradiente de velocidad generado es lo que se define como viscosidad, parámetro fundamental que caracteriza a los fluidos.

El esfuerzo cortante, también llamada fuerza de cizalla o fuerza aplicada por unidad de superficie, se define por el símbolo  $\sigma$  y tiene como unidades pascales o newton/metro cuadrado ( $\text{Pa} = \text{N}/\text{m}^2$ ). El gradiente de velocidad generado al aplicar ese esfuerzo cortante se define por el símbolo  $\dot{\gamma}$  y sus unidades son segundos a la menos 1 ( $\text{s}^{-1}$ ). Por tanto, la viscosidad del producto, expresada por el símbolo  $\mu$ , vendrá descrita por la ecuación 1, siendo sus unidades Pascales por segundo ( $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ) <sup>[3]</sup>.

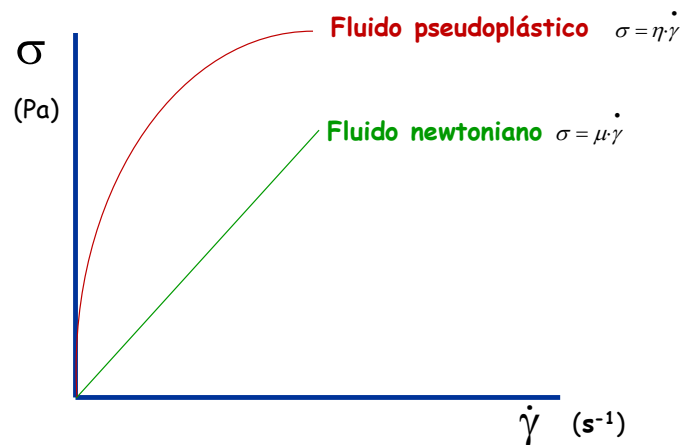
$$\mu = \frac{\sigma}{\dot{\gamma}} \quad (1)$$

Si el fluido muestra un comportamiento ideal, el estudio de su comportamiento al flujo será muy sencillo. A través del reograma (representación gráfica de la relación entre  $\sigma$  y  $\dot{\gamma}$ ) se observará una relación lineal, independientemente del esfuerzo y gradiente de velocidad aplicados, según describe la ley de Newton tal como muestra la figura 1. La pendiente de esta recta coincidirá con la viscosidad,  $\mu$ , llamada en este caso viscosidad newtoniana, coeficiente de viscosidad o viscosidad dinámica, y que, por lo tanto, será única para el producto en el intervalo de  $\sigma$  y  $\dot{\gamma}$  en que se haya estudiado el comportamiento del producto.

Si el fluido muestra un comportamiento no ideal (la mayoría de los fluidos alimentarios), la relación entre el esfuerzo cortante y el gradiente de velocidad no es constante, y en este caso, en lugar de coeficiente de viscosidad o viscosidad newtoniana, se habla de coeficiente de viscosidad aparente. La viscosidad aparente se representa con el símbolo  $\eta$ , y viene definida por la ecuación 2.

$$\eta = \frac{\sigma(\dot{\gamma})}{\dot{\gamma}} \quad (2)$$

Si el fluido muestra un comportamiento pseudoplástico, el estudio de su comportamiento al flujo se realizará también a través de su reograma, sólo que en este caso, no se observará una relación lineal entre  $\sigma$  y  $\dot{\gamma}$  (Figura 1), y será por tanto necesario aplicar otros modelos distintos a la ley de Newton para su caracterización. En el caso de fluidos pseudoplásticos, su comportamiento al flujo puede caracterizarse aplicando los modelos de Cross, Carreau, Sisko y Ostwald-de Waele [4].



**Figura 1. Reograma, curva de flujo o relación entre el esfuerzo cortante frente al gradiente de velocidad de para un fluido newtoniano y un fluido pseudoplástico.**

### 3 Objetivo

Con la redacción de este artículo docente se persigue que los alumnos adquieran la capacidad de caracterizar el comportamiento reológico de un alimento fluido pseudoplástico e interpretar el significado de los parámetros obtenidos de la caracterización.

### 4 Desarrollo

Para comenzar, en el punto 4.1 vamos a describir los pasos que debemos seguir para la caracterización de un fluido pseudoplástico.

En el punto 4.2 veremos un ejemplo real de cálculo.

#### 4.1 Caracterización de un alimento fluido pseudoplástico

Como se ha mencionado en el apartado 2, el comportamiento reológico de un fluido pseudoplástico, puede realizarse a través de los modelos de Cross, Carreau, Sisko y Ostwald-de Waele [4]. De todos ellos, el modelo más sencillo de aplicar es el modelo de

Ostwald-de Waele o, comúnmente conocido como ley de la potencia (ecuación 3). Este modelo sólo será aplicable cuando en el producto se produzca una reorganización estructural importante desde gradientes de velocidad bajos y además no se llegue al gradiente que suponga alcanzar el valor asintótico de viscosidad. En la práctica esto ocurre con muchos fluidos alimenticios y, por lo tanto, éste modelo ha sido ampliamente utilizado para su caracterización.

$$\sigma = K \cdot \dot{\gamma}^n \quad (3)$$

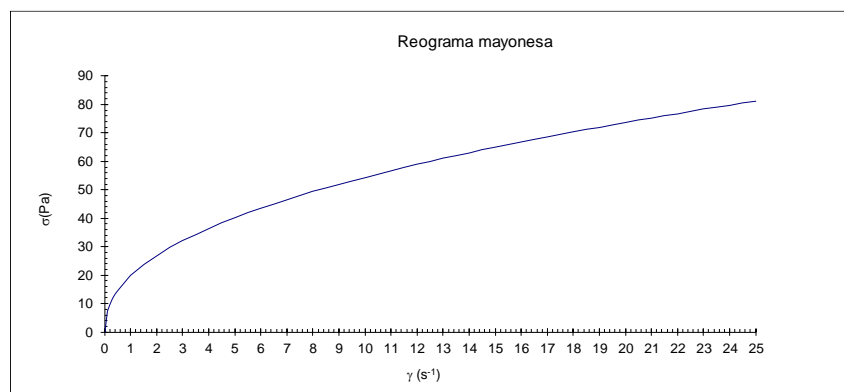
En este modelo, el parámetro K es el índice de consistencia del producto y n es el índice de comportamiento al flujo y representa la desviación del comportamiento del fluido respecto al comportamiento newtoniano. Si el valor de n es 1, se trata de un fluido newtoniano, mientras que, si el valor de n se encuentra entre 0 y 1, se trata de un fluido pseudoplástico.

Para la obtención de dichos parámetros bastará con conocer la curva de flujo, o relación entre el esfuerzo cortante frente al gradiente de velocidad del fluido y linealizar la ecuación 3 (ecuación 4). La relación entre el logaritmo neperiano del esfuerzo frente a logaritmo neperiano del gradiente de velocidad permitirá obtener un ajuste lineal, en el cual, la ordenada en el origen permitirá obtener el índice de consistencia del producto y la pendiente el índice de comportamiento al flujo.

$$\ln \sigma = \ln K + n \ln \dot{\gamma} \quad (4)$$

## 4.2 Ejemplo práctico de caracterización

Se desea caracterizar el comportamiento reológico de una mayonesa comercial, cuya composición es 78.9 % de grasa, 1.8 % de proteína y 19.2 % de agua. La Figura 2 muestra el reograma del producto.



**Figura 2. Reograma, curva de flujo o relación entre el esfuerzo cortante frente al gradiente de velocidad de para la mayonesa.**

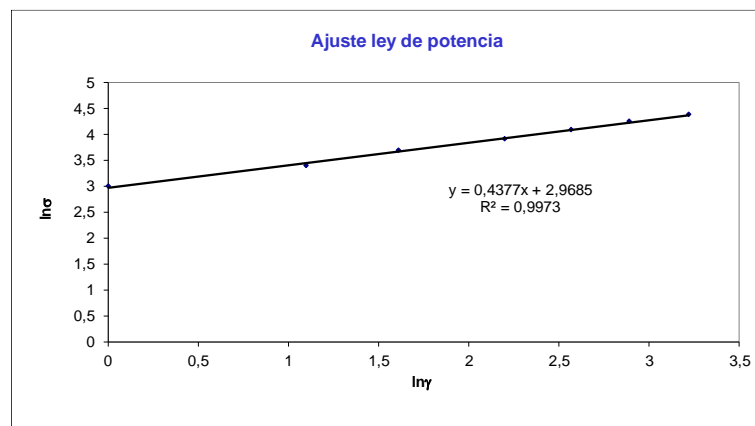
Para su caracterización se ajustarán los datos del reograma a la ley de potencia linealizada (ecuación 4). Para ello debemos obtener algunos puntos de la curva presentada en la figura 2. Cuantos más puntos obtengamos más preciso será el ajuste.

En la tabla 1 se muestran algunos puntos que permiten construir el reograma de la figura 2.

**Tabla 1. Relación entre el esfuerzo cortante frente al gradiente de velocidad de para la mayonesa**

$\gamma$	$\sigma$	$\ln\gamma$	$\ln\sigma$
0	0		
1	20	0,0000	2,9957
3	30	1,0986	3,4012
5	40	1,6094	3,6889
9	50	2,1972	3,9120
13	60	2,5649	4,0943
18	70	2,8904	4,2485
25	80	3,2189	4,3820

La figura 3 muestra el ajuste del modelo de la ley de potencia a los datos de esfuerzo cortante frente al gradiente de velocidad para la mayonesa, presentados en la tabla 1.



**Figura 3. Ajuste de la ley de potencia para el reograma obtenido de la mayonesa**

Del ajuste pueden obtenerse los parámetros del modelo:  $K=19.86 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{0.4353}$  y  $n=0.4377$ .

El valor de  $n$  obtenido se encuentra entre 0 y 1, indicando que se trata de un fluido con comportamiento pseudoplástico. El valor de  $K$  nos indica el índice de consistencia del producto.

La tabla 2, presenta a modo de ejemplo, valores del índice de consistencia y del índice de comportamiento al flujo de diferentes productos. En comparación a los productos mostrados en la tabla, se observa que la mayonesa tiene una consistencia e índice de comportamiento al flujo similar al de un tomate concentrado al 30%.

**Tabla 2. Valores del índice de consistencia (K) y de comportamiento al flujo (n) de diferentes productos.**

Producto	Temperatura	K (Pa.s <sup>n</sup> )	n
Natillas	80	7.24	0.36
Salsa	80	2.88	0.39
Zumo de tomate (12,8% de sólidos)	32	2	0.43
Zumo de tomate (25% de sólidos)	32	12.9	0.40
Zumo de tomate (30% de sólidos)	32	18.7	0.40
Chocolate fundido		50	0.5
Fluido sinovial		0.5	0.4
Pasta de dientes		300	0.3
Crema hidratante		250	0.1

## 5 Cierre

En este objeto de aprendizaje se han expuesto los fundamentos para la caracterización de un alimento fluido con comportamiento pseudoplástico. Se han descrito los pasos a seguir a la hora de efectuar dicha caracterización, interpretando el significado de los parámetros obtenidos y se ha presentado un ejemplo de caracterización para el caso de un alimento real.

## 6 Bibliografía

- [1] Alain-Claude, R. (2004). Reología y análisis de la textura de los alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza.
- [2] Muller, H.G. (1973). Introducción a la reología de los alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza.
- [3] Ramirez-Navas, J.S. (2006). Introducción a la reología de alimentos. Revista ReCiTelA
- [4] Chiralt, A; Martínez-Navarrete, N; G, C; Talens, P; Moraga, G. (2007). Propiedades físicas de los alimentos. Editorial UPV, Universidad Politécnica de Valencia, España.