

Caracterización del comportamiento reológico de un alimento fluido plástico

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

1 Resumen de las ideas clave

Las características reológicas de un fluido alimentario influyen de forma muy considerable en el grado de aceptación o rechazo de un producto por parte del consumidor. Por lo tanto, estudiar el comportamiento reológico de un fluido, y realizar la caracterización del mismo, tiene gran interés dentro del campo alimentario.

Este artículo se centra en la caracterización del comportamiento reológico de un alimento fluido plástico, es decir un alimento el cuál necesita superar un determinado umbral de esfuerzo para comenzar a fluir.

2 Introducción

La reología es la parte de la mecánica que estudia la elasticidad, plasticidad y viscosidad de la materia ^[1]. Desde un punto de vista reológico, un fluido se define como una sustancia que se deforma continuamente bajo la acción de un esfuerzo de corte o cizalla ^[2]. En un fluido, la relación entre el esfuerzo aplicado (σ , expresado generalmente en Pascales) y el gradiente de velocidad generado ($\dot{\gamma}$, expresado generalmente en segundos a la menos 1), es lo que se define como viscosidad. La viscosidad será por tanto la relación que hay entre el esfuerzo cortante, también llamada fuerza de cizalla o fuerza aplicada por unidad de superficie, y el gradiente de velocidad generado al aplicar ese esfuerzo cortante, y vendrá expresada en Pascales por segundo (Pa·s). Esta viscosidad es el parámetro fundamental que caracteriza a los fluidos, o, dicho de otro modo, la relación entre el esfuerzo requerido para inducir un determinado gradiente de velocidad, caracteriza el comportamiento reológico de un fluido ^[1].

Los fluidos pueden clasificarse de manera general de acuerdo con la relación entre el esfuerzo aplicado y la relación de deformación. Podemos clasificar a los fluidos en 2 grandes grupos, fluidos newtonianos y fluidos no newtonianos.

Los fluidos newtonianos, son aquellos en los que la relación entre el esfuerzo cortante y el gradiente de velocidad es constante, siendo esta constante la viscosidad (ecuación 1).

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

Los fluidos no newtonianos, son aquellos en los que la relación entre el esfuerzo cortante y el gradiente de velocidad no es constante. En este caso en lugar de coeficiente de viscosidad o viscosidad newtoniana se habla de coeficiente de viscosidad aparente, que se define según la ecuación 2

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

Los fluidos no newtonianos, siempre y cuando no exista una influencia debida al tiempo de cizalla, pueden dividirse en fluidos pseudoplásticos, fluidos dilatantes y fluidos plásticos ^[3].

Los fluidos pseudoplásticos son aquellos productos en los que la viscosidad aparente disminuye con el gradiente de velocidad.

Los fluidos dilatantes son aquellos productos en los que la viscosidad aparente aumenta con el gradiente de velocidad.

Los fluidos plásticos son aquellos productos que requieren un esfuerzo mínimo para empezar a fluir. Ese esfuerzo mínimo se conoce como umbral de esfuerzo o umbral de fluencia (σ_0). Por debajo del umbral de fluencia el producto exhibe características como de sólido. Una vez superado ese umbral de fluencia, y llegado al régimen de flujo, estos fluidos pueden comportarse como newtonianos (plásticos de Bingham) o como pseudoplásticos (plásticos en general). La figura 1 muestra el reograma, curva de flujo o relación entre el esfuerzo cortante y el gradiente de velocidad para un fluido plástico de Bingham y plástico en general.

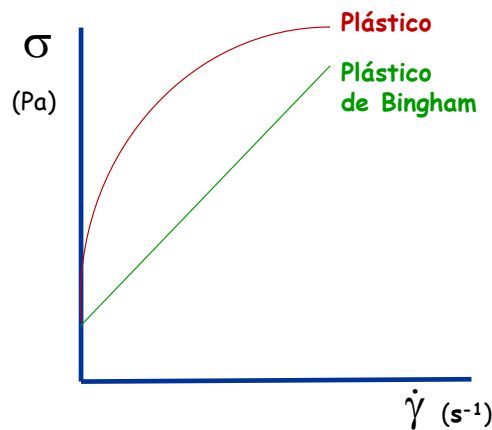


Figura 1. Reograma, curva de flujo o relación entre el esfuerzo cortante frente al gradiente de velocidad de para un plástico general y plástico de Bingham.

La caracterización del comportamiento reológico de un fluido plástico, puede realizarse aplicando, entre otros, los modelos de Herschel-Bulkley, Bingham, y Casson, a la curva de flujo del producto [3, 4, 5]

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 plástico 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 alimento fluido plástico.

En el punto 4.2 veremos un ejemplo real de cálculo.

4.1 Caracterización de un alimento fluido plástico

Como se ha mencionado en el apartado 2, el comportamiento reológico de un fluido plástico, puede realizarse aplicando los modelos de Herschel-Bulkley, Bingham, y Casson, a la curva de flujo del producto. El modelo de Herschel-Bulkley (ecuación 3), puede definirse incorporando el umbral de fluencia a la ecuación de potencia, y es aplicable a fluidos que, para esfuerzos de corte superiores al umbral, fluyen con carácter pseudoplástico o dilatante. Los parámetros que caracterizan este modelo son el umbral de fluencia (σ_0), el índice de comportamiento al flujo (n) y el índice de consistencia (K).

$$\sigma = \sigma_0 + K\dot{\gamma}^n \quad (3)$$

donde sí: $\sigma_0 = 0$ y $n = 1$ Fluido newtoniano
 $\sigma_0 = 0$ y $n \neq 1$ Fluido pseudoplástico o dilatante
 $\sigma_0 > 0$ y $n = 1$ Fluido plástico de Bingham
 $\sigma_0 > 0$ y $n \neq 1$ Otros plásticos

Si el fluido, una vez superado el umbral de fluencia, fluyen con carácter newtoniano, es mejor usar el modelo de Bingham (ecuación 4). Los parámetros que caracterizan este modelo son el umbral de fluencia (σ_0), y la viscosidad plástica (η_p).

$$\sigma = \sigma_0 + \eta_p \dot{\gamma} \quad (4)$$

El modelo de Casson (ecuación 5), es otro modelo matemático que permite caracterizar el flujo de productos plásticos. Este modelo ha sido ampliamente utilizado en chocolate fundido y productos derivados. Los parámetros que caracterizan este modelo son el umbral de fluencia (σ_0) y el índice de consistencia (K).

$$\sigma^{0.5} = \sigma_0^{0.5} + K^{0.5} \dot{\gamma}^{0.5} \quad (5)$$

4.2 Ejemplo práctico de caracterización

Se desea caracterizar el comportamiento reológico de un puré de albaricoque. Haciendo uso de un reómetro se obtienen los siguientes valores de esfuerzo-gradiente de velocidad (Tabla 1). Lo primero que debe hacerse es obtener el regrama a partir de los datos de la tabla 1 (Figura 2). Observando la Figura 2, se aprecia que se trata de un fluido plástico general ya que una vez se supera el umbral de fluencia de 22 Pa, el fluido se comporta como pseudoplástico. La caracterización reológica del puré podrá hacerse usando la ecuación de Herschel-Bulkley solo que puesta de forma linealizada (ecuación 6).

$$\ln(\sigma - \sigma_0) = \ln K + n \ln \dot{\gamma} \quad (6)$$

Tabla 1. Valores de esfuerzo-gradiente de velocidad para el puré de albaricoque

$\dot{\gamma}$ (s ⁻¹)	σ (N/m ²)
0.0	22.0
9.0	28.0
12.0	29.1
16.0	30.5
23.0	32.5
30.0	34.3
40.0	36.5
53.0	39.2
70.0	42.2

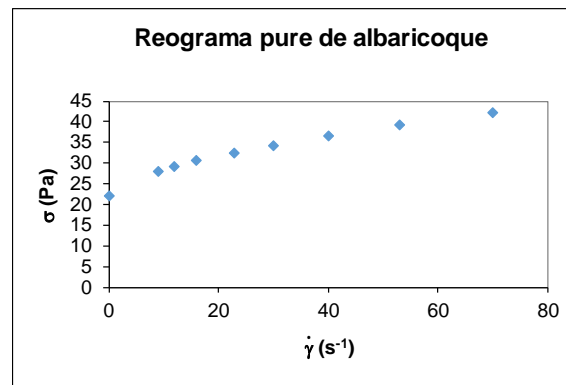


Figura 2. Reograma, curva de flujo o relación entre el esfuerzo cortante frente al gradiente de velocidad del puré de albaricoque.

La figura 3 muestra el ajuste del modelo de Herschel-Bulkley a los datos de esfuerzo cortante frente al gradiente de velocidad para el puré de albaricoque.

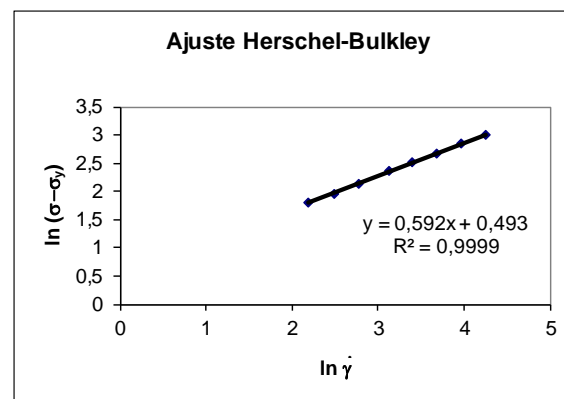


Figura 3. Ajuste de Herschel-Bulkley para el reograma obtenido para el puré de albaricoque.

Del ajuste del modelo de Herschel-Bulkley presentado en la figura 3, pueden obtenerse los parámetros: $\sigma_0 = 22 \text{ Pa}$, $n = 0.592$ y $K = 1.637 \text{ Pa} \cdot \text{s}^n$

5 Cierre

En este objeto de aprendizaje se han expuesto los fundamentos para la caracterización de un alimento fluido con comportamiento plástico. Se han descrito los pasos a seguir a la hora de efectuar dicha caracterización e interpretado el significado de los parámetros obtenidos de la caracterización.

6 Bibliografía

- [1] Alvarado, J.D. (2001). Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos. Editorial Acribia, Zaragoza.
- [2] Ramirez-Navas, J.S. (2006). Introducción a la reología de alimentos. Revista ReCiTelA
- [3] Chiralt, A; Martínez-Navarrete, N; G, C; Talens, P; Moraga, G. (2007). Propiedades físicas de los alimentos. Editorial UPV, Universidad Politécnica de Valencia, España.
- [4] Alain-Claude, R. (2004). Reología y análisis de la textura de los alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza.
- [5] Muller, H.G. (1973). Introducción a la reología de los alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza.