



Efecto de la temperatura en el comportamiento reológico de un alimento fluido

Apellidos, nombre	Talens Oliag, Pau (pautalens@tal.upv.es) Cortés López, Victoria (viccor13@doctor.upv.es) Fuentes López, Ana (anfuelo@upvnet.upv.es)
Departamento	Tecnología de Alimentos
Centro	Universitat Politècnica de València

1 Resumen de las ideas clave

La viscosidad de un fluido está afectada por muchas variables, siendo la temperatura una de ellas. Conforme aumenta la temperatura, las fuerzas viscosas son superadas por la energía cinética, dando lugar a una disminución de la viscosidad.

Dado que los alimentos durante su almacenamiento, procesado, y/o consumo pasan por distintas temperaturas, este artículo docente se centra en evaluar y estudiar la influencia que tiene la temperatura en el comportamiento reológico de un fluido.

2 Introducción

El comportamiento reológico de un fluido se caracteriza a través de su viscosidad, siendo la viscosidad la relación que existe entre el esfuerzo que se aplica al fluido y el gradiente de velocidad generado por la aplicación de dicho esfuerzo ^[1,2]. Cuando se trata de un fluido newtoniano (fluido muy diluido) se habla en términos de viscosidad newtoniana o viscosidad (μ), mientras que, si el fluido es no newtoniano, es decir, aquellos fluidos que a diferencia de los newtonianos no tienen valores de viscosidades definidas, se habla en términos de viscosidad aparente (η). En este tipo de fluidos se suele emplear también el término de consistencia, o índice de consistencia (K) para definir su comportamiento.

Su comportamiento reológico depende de muchas variables, entre las que destacan la velocidad de cizalla, el tiempo de aplicación de la misma, la concentración del fluido, y la presión y temperatura de trabajo. De todas estas variables, la temperatura ejerce una gran influencia en la viscosidad e índice de consistencia del fluido.

La mayoría de los materiales disminuyen su viscosidad conforme aumenta la temperatura. Esta dependencia es de tipo exponencial y puede haber variaciones de hasta un 10% por cada grado centígrado modificado. Por ejemplo, la sensibilidad a la temperatura del agua es de 3% por grado centígrado a temperatura ambiente, así que para tener una precisión del 1% requiere que la temperatura sea regulada en 0,3°C. Para líquidos más viscosos esta dependencia es mayor, y deben tomarse mayores precauciones en el control de la temperatura ^[3].

La tabla 1 muestra, a título de ejemplo, cómo influye la temperatura en los valores de viscosidad para suero de leche, leche desnatada y leche entera. En todos los casos se observa que la viscosidad disminuye a medida que aumenta la temperatura.

Tabla 1. Influencia de la temperatura sobre la viscosidad de suero de leche, leche desnatada y leche entera

Producto	Temperatura (°C)	Viscosidad (Pa.s)
Suero de leche	20	$1,30 \cdot 10^{-3}$
Suero de leche	72	$0,35 \cdot 10^{-3}$
Leche desnatada	20	$1,70 \cdot 10^{-3}$
Leche desnatada	72	$0,60 \cdot 10^{-3}$
Leche entera	20	$2,10 \cdot 10^{-3}$
Leche entera	72	$0,75 \cdot 10^{-3}$

Por norma general, la viscosidad e índice de consistencia de un fluido alimentario disminuye de forma exponencial al aumentar la temperatura (Figura 1); y cuanto más viscoso es el fluido, más se ve afectado el mismo por la temperatura.

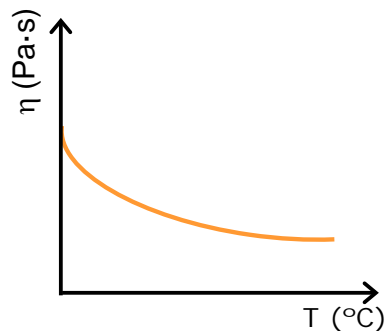


Figura 1. Variación de la viscosidad con la temperatura para un fluido alimentario.

Estudiar la relación que existe entre la viscosidad y la temperatura es de gran interés para la industria alimentaria a nivel de control de procesos, control de calidad y en el diseño y selección de equipos.

3 Objetivo

Con la redacción de este artículo docente se persigue que los alumnos adquieran la capacidad de identificar y evaluar cómo afecta la temperatura al comportamiento reológico de un fluido, siendo capaces de predecir cuál sería el valor de viscosidad del producto si se encontrara a una temperatura determinada.

4 Desarrollo

En el punto 4.1 vamos a describir cómo podemos evaluar el efecto de la temperatura en el comportamiento reológico del fluido.

En el punto 4.2 veremos un ejemplo real de cálculo.

4.1 Efecto de la temperatura

Por lo general, la ecuación de Arrhenius describe bien la relación que hay entre la viscosidad (η) o índice de consistencia (K) y la temperatura (T) (ecuación 1 y 2 respectivamente).

$$\eta = A \exp (E_a/RT) \quad (1)$$

$$K = A \exp (E_a/RT) \quad (2)$$

Donde:

A es la viscosidad o consistencia cuando el tiempo tiende al ∞

E_a es la energía de activación al flujo, que determina el grado de influencia de la temperatura en la viscosidad o fuerzas de fricción de las moléculas del material (cuanto mayor es la energía de activación, mayor es el cambio de la viscosidad con la temperatura)

R es la constante de los gases que tiene el valor de 8,314 J/mol·K

Para la obtención de los parámetros de Arrhenius bastará con conocer la viscosidad o índice de consistencia de un fluido a distintas temperaturas. Una vez se conozcan los parámetros, se podrá predecir el valor de la viscosidad o del índice de consistencia a cualquier temperatura de trabajo.

Dado que la relación es de tipo exponencial, lo primero que debemos hacer es linealizar la ecuación de Arrhenius aplicando logaritmos neperianos (ecuación 3 y 4).

$$\ln \eta = \ln A + E_a/RT \quad (3)$$

$$\ln K = \ln A + E_a/RT \quad (4)$$

Si representamos el logaritmo neperiano de la viscosidad o el índice de consistencia frente a la inversa de la temperatura en grados kelvin, obtendremos una recta en la cual la ordenada en el origen permitirá calcular la viscosidad o consistencia cuando el tiempo tiende al ∞ y la pendiente la energía de activación al flujo.

4.2 Ejemplo real de cálculo

Se ha estudiado el efecto de la temperatura sobre una crema de queso untable. Para ello se ha determinado su viscosidad e índice de consistencia a 15, 25 y 35 °C. La tabla 2 presenta estos valores.

Se desea conocer cuál será la viscosidad y el índice de consistencia para la crema de queso untable cuando es almacenada en nevera a una temperatura de 4°C.

Tabla 2. Valores de viscosidad (η) e índice de consistencia (K) a 3 temperaturas para una crema de queso untable

T (°C)	T (K)	η (Pa·S)	K (Pa·s ⁿ)
15	288,15	0,80	4,85
25	298,15	0,67	4,52
35	308,15	0,53	4,30

Teniendo en cuenta que, por norma general, la ecuación de Arrhenius describe bien la relación que hay entre la viscosidad e índice de consistencia y la temperatura, para calcular ambos valores a 4°C, se aplicarán las ecuaciones 1 y 2 a los datos presentados en la tabla 2.

La figura 2 (a) y 2 (b) muestra la variación de la viscosidad y el índice de consistencia, respectivamente, con la temperatura.

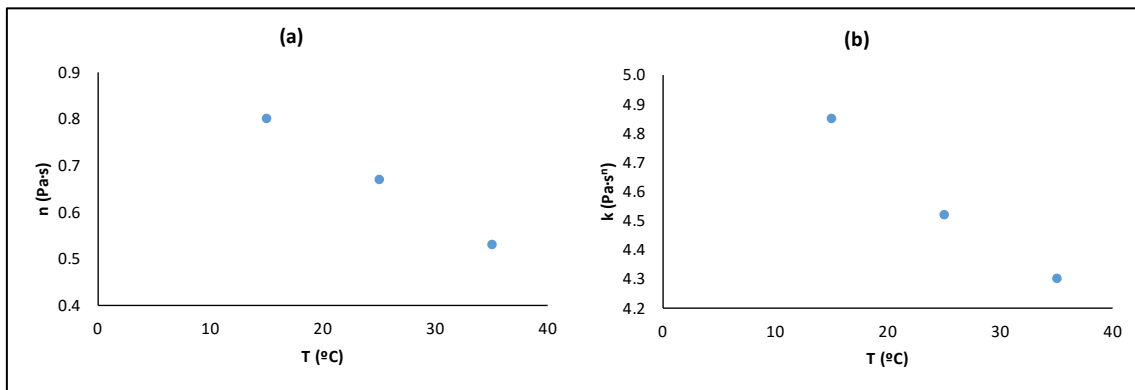


Figura 2. Variación de la viscosidad (a) y el índice de consistencia (b) con la temperatura para la crema untable de queso

A partir de las ecuaciones linealizadas (ecuaciones 3 y 4) podremos obtener los parámetros η_0 , k_0 y E_a . La figura 3 muestra el ajuste de las ecuaciones 3 y 4 para la viscosidad (figura 3a) e índice de consistencia (figura 3b). Es importante remarcar que para obtener los parámetros debemos trabajar en todo momento en grados kelvin.

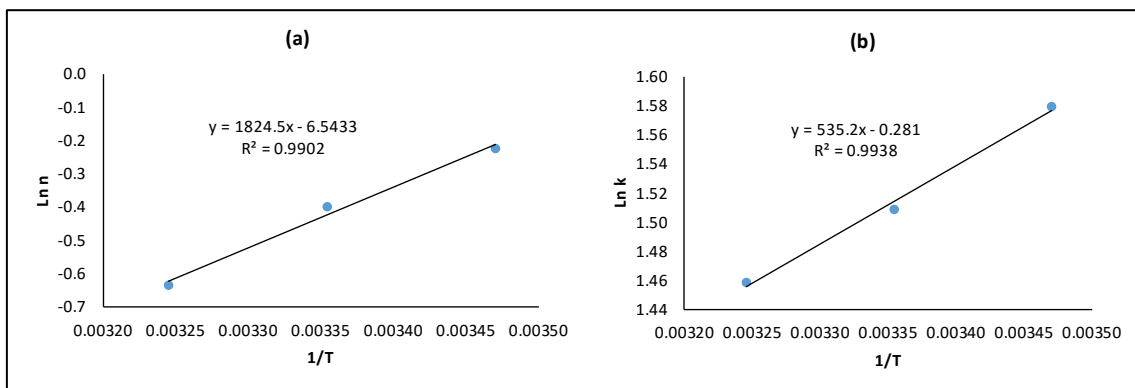


Figura 3. Ajuste del ln de viscosidad (a) y ln de índice de consistencia (b) con la inversa de temperatura en grados kelvin para la crema untable de queso

De los ajustes observados en la figura 3 pueden obtenerse el parámetro A y el valor del cociente entre la energía de activación y la constante de los gases ($R = 8,314 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$) La tabla 3 muestra estos valores.

Tabla 3. Parámetros del ajuste de Arrhenius

Ajuste	A(Pa·s o Pa·s ⁿ)	E _a (J/mol)
Viscosidad	0,0144	15168,9
Índice de consistencia	0,7550	4449,6

Usando los parámetros de la tabla 3, llegamos al resultado de que cuando la crema de queso untable es almacenada en nevera (4°C) su viscosidad tendrá un valor de 1,04 Pa·s y un índice de consistencia de 5,21 Pa·sⁿ.

5 Cierre

En este objeto de aprendizaje se han descrito los pasos a seguir para evaluar y calcular la influencia que tiene la temperatura en el comportamiento reológico de un fluido y se he presentado un ejemplo real para el caso de una crema de queso untable.

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] Ramírez N., J.S (2006). Introducción a la reología de alimentos. Editorial ReCiTelA, Colombia.