

Caracterización del comportamiento viscoelástico de un alimento mediante un ensayo oscilatorio

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

1 Resumen de las ideas clave

Muchos alimentos incluyen en su composición una matriz sólida más o menos elástica y una fase líquida que aporta viscosidad a la estructura total. Estos alimentos presentan un comportamiento mecánico que combina características propias de los sólidos elásticos y de los líquidos viscosos, y se denominan viscoelásticos [1]. Su caracterización puede realizarse mediante ensayos dinámicos, en los que se hace variar el esfuerzo o la deformación de forma sinusoidal con el tiempo, siendo por tanto independientes del tiempo, o mediante ensayos transitorios, dependientes del tiempo. En este artículo docente vamos a presentar como podemos caracterizar el comportamiento viscoelástico de un alimento mediante un ensayo dinámico independiente del tiempo o también llamado ensayo oscilatorio.

2 Introducción

La respuesta de los materiales viscoelásticos a ciertos esfuerzos y deformaciones es ampliamente dependiente del tiempo, por lo que su inclusión como una variable independiente ayuda a definir las propiedades del material. Las experiencias dinámicas u oscilatorias consisten en aplicar de forma oscilatoria una pequeña deformación o un pequeño esfuerzo sobre un fluido y medir la amplitud de la respuesta de la deformación o esfuerzo cortante y del ángulo de fase entre el esfuerzo cortante y la deformación. Este ensayo corresponderá al estado de viscoelasticidad lineal si el esfuerzo o la deformación es linealmente proporcional al esfuerzo o a la deformación aplicada y si la respuesta del esfuerzo o deformación es en forma de una onda sinusoidal [2]. Al trabajar en el dominio de viscoelasticidad lineal, se trata de un ensayo no destructivo, y, por tanto, las medidas se realizan sin ocasionar daño estructural a la muestra, por lo que los parámetros reológicos dinámicos pueden relacionarse con la estructura molecular del alimento [3, 4].

Generalmente se realiza con reómetros de placa-placa o cono-placa aplicando una torsión de baja amplitud (deformación de baja oscilación) y registrando el esfuerzo resultante. La torsión aplicada por el plato móvil va desde "0" en el eje central hasta el límite máximo, resultando en la deformación de la muestra en función del tiempo. En términos generales, el esfuerzo resultante está fuera de fase con la deformación aplicada, por un ángulo δ (Figura 1), denominado ángulo de desfase o de pérdida mecánica.

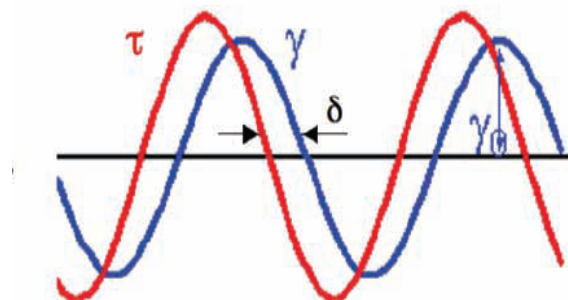


Figura 1. Desfase entre el esfuerzo (τ) y la deformación (γ), ángulo de desfase (δ) en un ensayo dinámico.

En el caso de un sólido elástico esta onda está en fase con la velocidad de deformación aplicada. Para un líquido viscoso ideal existe un desfase de 90° entre ellos. En fluidos viscoelásticos el ángulo de desfase se encuentra comprendido en el intervalo $0^\circ < \delta < 90^\circ$, y relaciona la energía almacenada y la disipada, permitiendo describir el comportamiento viscoelástico del material.

3 Objetivo

Con la redacción de este artículo docente se persigue que los alumnos adquieran destreza en la caracterización de las propiedades viscoelásticas de un alimento a través de un ensayo oscilatorio.

4 Desarrollo

En el punto 4.1 vamos a describir como se realiza un ensayo oscilatorio y que variables nos permiten describir el comportamiento viscoelástico del material.

En el punto 4.2 veremos un ejemplo de caracterización de un alimento a través de un ensayo oscilatorio.

4.1 Ensayo Oscilatorio

Los ensayos oscilatorios se realizan en 2 etapas, en una primera etapa se hace un barrido de esfuerzo o barrido de deformación a una frecuencia constante con el fin de asegurar que el posterior barrido de frecuencias se va a realizar en la región de viscoelasticidad lineal (región donde el producto aún se puede recuperar de la deformación o esfuerzo impuesto y donde existe una relación lineal entre el esfuerzo o deformación aplicada y la deformación o esfuerzo obtenido). En la segunda etapa se realiza un barrido de frecuencias a un esfuerzo o deformación fijo, y que se encuentra dentro del rango de viscoelasticidad lineal. De este segundo barrido es posible obtener una serie de parámetros o funciones viscoelásticas dinámicas que permiten determinar la proporción entre el componente elástico y viscoso de un material y cuantificar en qué medida se comporta como sólido o como líquido un material. Las distintas funciones viscoelásticas que permiten caracterizar el comportamiento viscoelástico de un producto son:

G' : Módulo elástico o de almacenamiento. Representa la componente elástica del producto. Es directamente proporcional a la energía almacenada por el material en un ciclo de deformación.

G'' : Módulo viscoso o de pérdida. Representa el comportamiento viscoso de la muestra. Es directamente proporcional a la energía disipada por el material en un ciclo de deformación.

G^* : Módulo complejo. Representa la resistencia total de una sustancia frente a la deformación aplicada. Consta de un componente real G' , que está en fase, y un componente imaginario G'' , que se encuentra desfasado 90° , como se muestra en la Figura 2. El vector que representa el módulo complejo G^* , y que, por tanto, lo define, es: $G^* = G' + iG''$

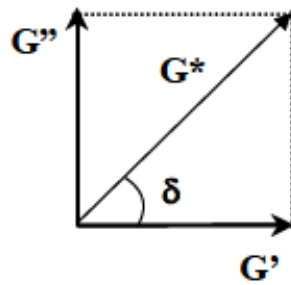


Figura 2. Vector que representa el módulo complejo G^* , con sus componentes G' y G''

δ : Ángulo de fase o de desfase. Índice de la viscoelasticidad. Proporciona una primera idea de la naturaleza reológica del material.

$\tan \delta$: La tangente del ángulo de fase, también denominada tangente de pérdidas, es una función viscoelástica dinámica generalmente dependiente de la frecuencia, que indica la razón entre la componente viscosa y elástica presentada por el material, $\tan \delta = G''/G'$. Representa el desfase existente entre el esfuerzo y la deformación, siendo un parámetro indicativo de la relación entre la energía disipada y la almacenada por el material y de la viscoelasticidad del mismo.

η^* : Viscosidad Compleja. Alternativamente al módulo complejo G^* , puede definirse la viscosidad compleja η^* , la cual describe la resistencia total de un material a la cizalla dinámica, $\eta^* = G^*/\omega$, donde ω es la frecuencia angular.

Si un material es elástico el esfuerzo y la deformación están en fase ($\delta \approx 0^\circ$), poseerá un módulo elástico elevado ($G' \approx G^*$) y un pequeño módulo viscoso ($G'' \approx 0$). Si un material es viscoso entonces el esfuerzo y la deformación están en desfase ($\delta \approx 90^\circ$) y el módulo viscoso será elevado ($G'' \approx G^*$) y el módulo elástico pequeño ($G' \approx 0$). Si un material es viscoelástico δ tendrá valores entre 0 y 90° [5]. Un $\delta = 45^\circ$ significa que no se da una preponderancia de la componente elástica sobre la viscosa ni viceversa. Un valor $\tan \delta = 1$ indica que el material responde con componentes viscosa y elástica del mismo valor.

El ángulo de fase (δ) y el módulo complejo (G^*) permiten definir el mapa viscoelástico (figura 3) donde se diferencian los materiales sólidos elásticos y líquidos viscosos y los materiales con alta o baja viscosidad.

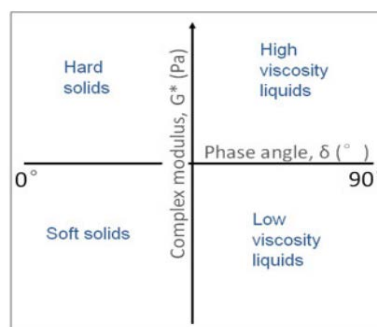


Figura 3. Mapa viscoelástico

4.2 Ejemplo real de caracterización de un alimento viscoelástico mediante un ensayo oscilatorio

Con el fin de aportar mayor estabilidad y dar lugar a una textura más cremosa, los helados incorporan en su composición distintos ingredientes estabilizantes como son la goma de guar, goma xantana, goma gellan, goma de garrofin o carragenatos entre otros. Dependiendo de la concentración, y tipo de estabilizante, su efecto en la textura del helado es uno u otro. Imaginad que queremos estudiar cómo afecta a sus propiedades mecánicas, la adición o no de goma xantana a diferentes concentraciones (0, 0.4 y 0.8%) [6]. Podemos caracterizar el comportamiento viscoelástico de los distintos helados mediante un ensayo oscilatorio.

Lo primero que tendremos que hacer es un barrido de esfuerzo o deformación para estimar la región viscoelástica lineal para posteriormente realizar el barrido de frecuencias. A partir del barrido de frecuencias se pueden estimar las distintas funciones viscoelásticas que nos permiten caracterizar el comportamiento viscoelástico de los distintos helados. La figura 4 muestra cómo cambian los valores de los 3 módulos (módulo de almacenamiento, módulo de pérdida, y módulo complejo) (Figura 4a) y la tangente de pérdidas y la viscosidad compleja (Figura 4b) para los distintos helados en función de la concentración de goma xantana.

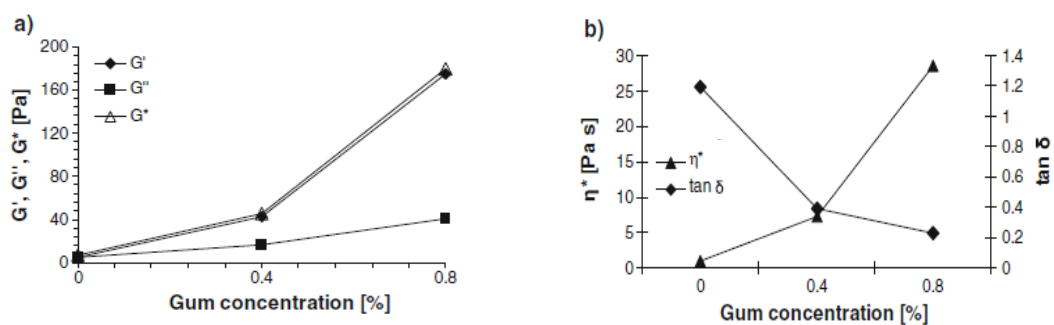


Figura 4. Variación del módulo de almacenamiento, módulo de pérdida y módulo complejo (a) y tangente de pérdidas y viscosidad compleja (b) de los distintos helados en función de la concentración de goma xantana.

Si evaluamos el efecto que tiene sobre la crema de helado la adición de goma xantana observamos que la relación $G'-G''$ y el módulo complejo G^* aumenta a medida que aumenta la concentración de goma xantana, mientras que la tangente del ángulo de fase disminuye y la viscosidad compleja aumenta, indicando que la adición de goma xantana hace que predomine la componente elástica sobre la viscosa.

5 Cierre

En este objeto de aprendizaje se han expuesto los fundamentos para la caracterización del comportamiento mecánico de un alimento sólido. Se han descrito los principales tipos de ensayos que pueden realizarse para el análisis de las propiedades mecánicas de sólidos y se ha presentado un ejemplo real de caracterización.

6 Bibliografía

- [1] Fizman, S.M.; Costell, E.; Durán, L. (1983). Medida del comportamiento reológico de alimentos sólidos, II. Métodos fundamentales, Rev. Agroquím. Tecnol. Aliment., v. 23(3), p. 303-309.
- [2] Barnes, H., A handbook of elementary rheology, 1ª Edition, 84-89, University of Wales, Institute of non-newtonian, fluid mechanics, Cardiff, Wales, UK (2000).
- [3] Álvarez, M. D. y Canet, W. (2001a). Influence of cooking and freeze-thaw cycles on viscoelastic properties of vegetable purees".Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie, 34: 549-555.
- [4] Álvarez, M.D. y Canet, W. (2001b). "Rheological properties of frozen vegetables purees. Effect of freeze-thaw cycles and thawing conditions". European Food Research and Technology, 213: 30-37
- [5] Chhabra, R.P. y J.F. Richardson (2008). Non-Newtonian Flow and Applied Rheology: Engineering Applications, 2ª Edition, 97-101, Butterworth-Heinemann, Oxford, United States.
- [6] Dogan, M.; Kayacier, A.; Toker, Ö.S.; Yilmaz, M.T.; Karaman, S. (2013). Steady, Dynamic, Creep, and Recovery Analysis of Ice Cream Mixes Added with Different Concentrations of Xanthan Gum. Food and Bioprocess Technology, 6, 6, 1420-1433