

Caracterización del comportamiento viscoelástico de un alimento mediante un ensayo transitorio de fluencia creep- recovery

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

1 Resumen de las ideas clave

La respuesta que presentan los alimentos con propiedades viscoelásticas a ciertos esfuerzos y deformaciones es ampliamente dependiente del tiempo. El comportamiento de este tipo de materiales puede caracterizarse mediante ensayos dinámicos 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 transitorio de fluencia, también llamado ensayo creep-recovery.

2 Introducción

Los alimentos con propiedades viscoelásticas, son aquellos alimentos que presentan, conjuntamente, propiedades de flujo viscoso y propiedades de sólido elástico [1]. Su estudio y caracterización son muy útiles en el diseño y en la predicción de la estabilidad de muestras almacenadas [2].

La caracterización del comportamiento viscoelástico de un alimento consiste en separar la componente viscosa, típica de fluidos puros, y descrita por la ley de Newton, y la componente elástica, propia de sólidos puros, y descrita por la ley de Hook.

Hay que tener en cuenta que en general, los alimentos viscoelásticos no exhiben un comportamiento lineal y para el estudio de la viscoelasticidad deben definirse las condiciones experimentales para que se establezcan las relaciones entre las variables esfuerzo, deformación y tiempo, de manera que se mantenga la linealidad de respuesta viscoelástica.

Una forma de analizar el comportamiento viscoelástico de un material consiste en someter la muestra a una deformación, o un esfuerzo, controlados y constantes, caracterizando la evolución de la magnitud no impuesta con el tiempo. Si lo que se fija es el esfuerzo, y se analiza cómo se va deformando el material en función del tiempo, hablamos de ensayos de fluencia o creep-recovery, mientras que si lo que se fija es la deformación, y se analiza cómo va evolucionando el esfuerzo con el tiempo, hablamos de ensayos de relajación de esfuerzo.

Experimentalmente, tanto la deformación como el esfuerzo pueden determinarse a partir de medidas efectuadas en reómetros, en cualquiera de sus tres geometrías (cilindros concéntricos, placa-placa o cono-placa) o usando prensas universales de ensayos de textura.

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 de fluencia o creep-recovery.

4 Desarrollo

En el punto 4.1 vamos a describir en que consiste, como se realiza y cómo podemos analizar un ensayo de fluencia o creep-recovery.

En el punto 4.2 veremos un ejemplo de caracterización de un alimento a través de un ensayo de fluencia o creep-recovery.

4.1 Ensayo de Fluencia o creep-recovery

El ensayo de fluencia, en inglés llamado ensayo de creep-recovery, consiste en aplicar un esfuerzo cortante constante a un material inicialmente en reposo y medir como varia la deformación con el tiempo (creep). El ensayo sigue con un periodo de recuperación, en el cual se cancela el esfuerzo aplicado, y se registra como varia la deformación con el tiempo (recovery). Aunque el ensayo puede efectuarse usando prensas universales de ensayos de textura, generalmente se realiza usando un reómetro de esfuerzo controlado de geometría placa-placa o cono-placa.

El esfuerzo aplicado debe ser lo suficientemente pequeño para asegurar que la respuesta sea lineal, siempre y cuando la respuesta se encuentre dentro del rango de deformaciones que se pueda medir.

La función viscoelástica obtenida en este ensayo es la capacitancia $J(t)$, definida en inglés como compliance, y que se define como el cociente entre la deformación $\gamma(t)$ y el esfuerzo σ (ecuación 1).

$$J(t) = \frac{\gamma(t)}{\sigma} \quad (1)$$

La figura 1 muestra un ejemplo de ensayo de creep-recovery ideal, donde se representa la relación esfuerzo (stress) y deformación (strain) frente al tiempo (time) y se muestra el comportamiento de un material elástico ideal, un material viscoso ideal y un material viscoelástico ideal.

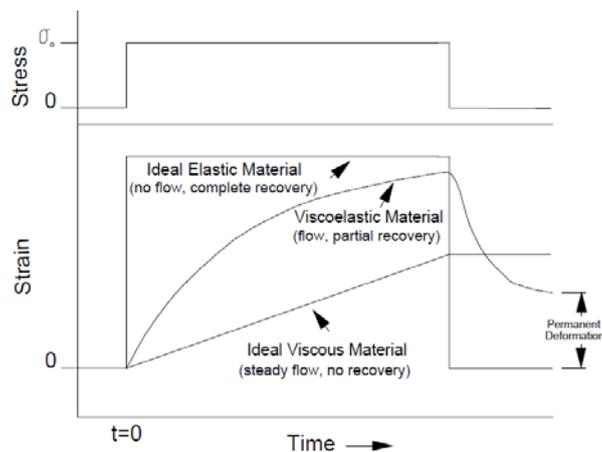


Figura 1. Ejemplo de un ensayo creep-recovery ideal

Para analizar el comportamiento viscoelástico del material podemos aplicar el modelo de Burger a los datos obtenidos del ensayo (Figura 2a).

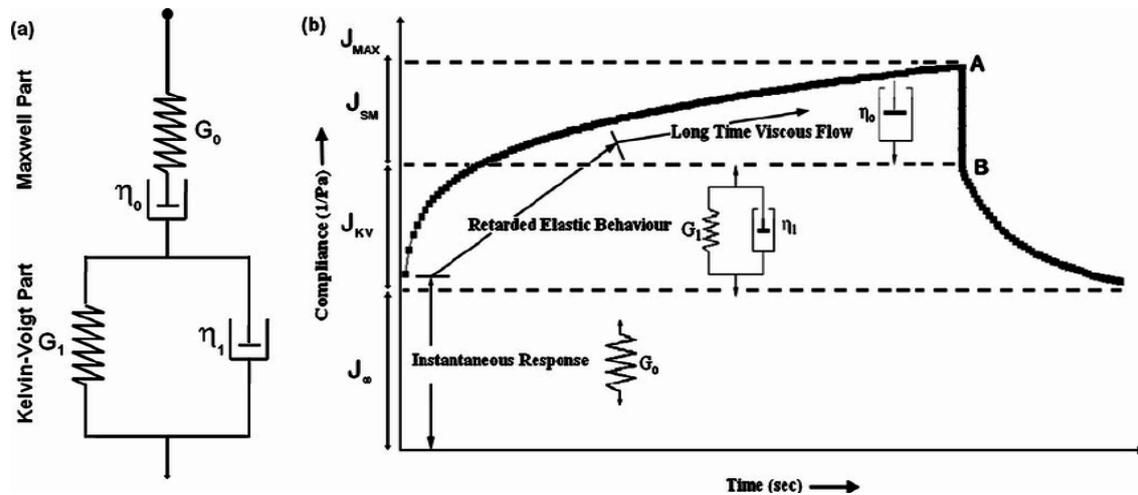


Figura 2. Modelo de Burger (a) y capacitancia en función del tiempo para los 4 elementos del modelo de Burger (b).

Para la primera parte del análisis (creep), la capacitancia, $J(t)$, se corresponde con la ecuación 2.

$$J(t) = \frac{1}{G_0} + \frac{1}{G_1} \left[1 - \exp\left(\frac{-tG_1}{\eta_1}\right) \right] + \frac{1}{\eta_0} \quad (2)$$

Donde G_0 y η_0 representan el módulo elástico instantáneo y la viscosidad residual de Maxwell, y G_1 y η_1 , el módulo elástico y la viscosidad interna de Kelvin-Voigt.

En esta segunda parte del ensayo (recovery), la capacitancia se corresponde con la ecuación 3.

$$J(t) = J_\infty + J_{KV} \exp(-Bt^C) \quad (3)$$

Donde t es el tiempo, B y C parámetros relacionados con la velocidad de recuperación, y J_∞ y J_{KV} parámetros relacionados con la recuperación de Maxwell y Kelvin-Voigt, respectivamente.

En esta segunda parte del análisis, se observan 3 regiones de capacitancia, J_{SM} que se corresponde con la primera recuperación, la cual es prácticamente instantánea, J_{KV} , que es la segunda recuperación, la cual decrece lentamente y de forma exponencial, y J_∞ , que es la tercera recuperación, que se corresponde con la recuperación residual permanente. La suma de las 3 regiones de capacitancia debe coincidir con el valor de J_{max} (ecuación 4), que es valor de capacitancia máxima al acabar el ensayo de Creep, y comenzar el ensayo de recovery.

$$J_{max} = J_{SM} + J_{KV} + J_\infty \quad (4)$$

Cuando el objetivo es comparar los valores de las 3 capacitancias, J_{SM} , J_{KV} , y J_{∞} , entre curvas con distinta $J(t)$, es conveniente calcular el % de ellas en relación a la J_{max} (ecuación 5).

$$\% J = \left[\frac{J_{element}}{J_{max}} \right] \times 100 \quad (5)$$

Donde $J_{element}$, es la capacitancia J_{SM} , J_{KV} , y J_{∞} .

El porcentaje de recuperación de total del sistema puede determinarse a través de la ecuación 6.

$$\% R = \left[\frac{(J_{max} - J_{\infty})}{J_{max}} \right] \times 100 \quad (6)$$

La figura 2 muestra el modelo de Burger (2a) y la capacitancia en función del tiempo para los 4 elementos del modelo de Burger (2b).

En general, cuanto más altos sean los valores de $J(t)$, la estructura interna del producto será más frágil y por tanto más viscoso será el producto. Esto se corresponderá con valores bajos de los 4 parámetros de Burger (G_0 , n_0 , G_1 y n_1) analizados en el periodo de creep y con valores altos de J_{max} , J_{∞} , J_{SM} , J_{KV} y $\% J_{\infty}$ y valores bajos de $\% J_{SM}$, $\% J_{KV}$, y $\% R$ analizados en el periodo de recovery.

4.2 Ejemplo real de caracterización de un alimento viscoelástico mediante un ensayo de fluencia o creep-recovery

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 garrofín 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%) [3]. Podemos estudiar su comportamiento viscoelástico mediante un ensayo de fluencia o creep-recovery. La figura 3 muestra un ejemplo de curva creep-recovery de los helados, obtenida trabajando con las 3 concentraciones de goma xantana.

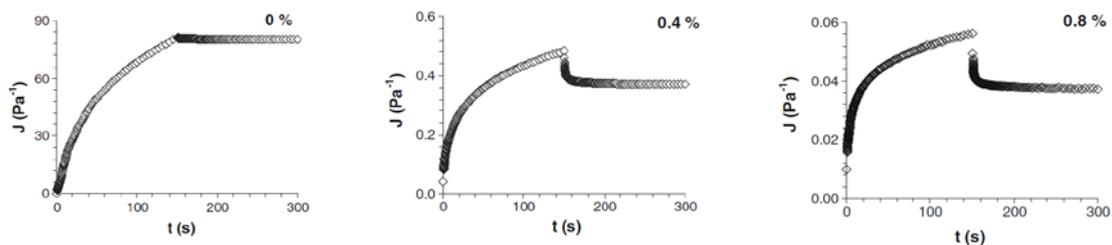


Figura 3. Curvas creep-recovery para las 3 muestras de helado incorporando goma xantana a distintas concentraciones [3].

Para analizar el comportamiento viscoelástico de los helados se aplica el modelo de Burger (figura 2a) a los datos obtenidos del ensayo.

La tabla 1 muestra los parámetros para la primera parte del análisis (creep). Se observa que los parámetros aumentan considerablemente a medida que aumenta la concentración de goma xantana, indicando que la deformación producida en el helado, cuando incluye goma xantana, es mínima para el mismo valor de esfuerzo al mismo tiempo lo que influye en que la estructura interna de estos helados esté más reforzada. Si observamos la primera parte de la curva, en la figura 3, los resultados concuerdan con los valores de los 4 parámetros analizados. Vemos que las muestras con goma xantana presentan menores valores de $J(t)$ indicando un mayor comportamiento elástico por parte de la muestra analizada.

Tabla 1. Parámetros creep para las 3 muestras de helado incorporando goma xantana a distintas concentraciones [3].

| Concentración (%) | Parámetros creep del modelo de Burger | | | | |
|-------------------|---------------------------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------|
| | G_0 (Pa) | η_0 (Pa·s) | G_1 (Pa) | η_1 (Pa·s) | R^2 |
| 0 | $0,27 \pm 0,02$ | $0,22 \pm 0,01$ | $0,001 \pm 0,000$ | $-0,28 \pm 0,02$ | 0,999 |
| 0,4 | $13,30 \pm 0,13$ | 708 ± 8 | $4,65 \pm 0,02$ | $59,73 \pm 0,08$ | 0,998 |
| 0,8 | $66,64 \pm 0,80$ | 9142 ± 659 | 46 ± 2 | 335 ± 22 | 0,997 |

La tabla 2 y 3 muestran los parámetros recovery, y el porcentaje de participación y de recuperación respecto a J_{max} , para las 3 muestras de helado incorporando goma xantana a distintas concentraciones.

Tabla 2. Parámetros recovery para las 3 muestras de helado incorporando goma xantana a distintas concentraciones [3].

| Concentración (%) | Parámetros recovery del modelo de Burger | | | | | | |
|-------------------|--|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|---------------------|-------------------|-------|
| | J_{max} (Pa ⁻¹) | J_{SM} (Pa ⁻¹) | J_{∞} (Pa ⁻¹) | J_{KV} (Pa ⁻¹) | B (S ^c) | C | R^2 |
| 0 | $81,1 \pm 0,8$ | $0,790 \pm 0,062$ | $80,4 \pm 0,7$ | 0,0 | 0 | 0,0 | - |
| 0,4 | $0,488 \pm 0,004$ | $0,009 \pm 0,002$ | $0,376 \pm 0,005$ | $0,103 \pm 0,001$ | $0,619 \pm 0,006$ | $0,500 \pm 0,005$ | 0,970 |
| 0,8 | $0,051 \pm 0,003$ | $0,006 \pm 0,002$ | $0,032 \pm 0,003$ | $0,014 \pm 0,002$ | $0,643 \pm 0,011$ | $0,473 \pm 0,022$ | 0,974 |

Tabla 3. Porcentaje de participación de cada elemento del modelo de Burger y recuperación total, respecto a la máxima capacitancia [3].

| Concentración (%) | J_{SM} (%) | J_{KV} (%) | J_{∞} (%) | R (%) ^a |
|-------------------|--------------|--------------|------------------|--------------------|
| 0 | 0,9 | 0,0 | 99,1 | 0,9 |
| 0,4 | 1,9 | 21,1 | 77,0 | 23,0 |
| 0,8 | 11,0 | 27,0 | 62,0 | 37,2 |

^a Corresponde con el porcentaje final de recuperación de las mezclas de helado

La tablas 2 y 3 muestran que al aumentar la concentración de goma xantana disminuyen los valores de J_{max} , J_{∞} , J_{SM} , J_{KV} y % J_{∞} y aumentan los valores de % J_{SM} , % J_{KV} , y %R analizados en el periodo de recovery, confirmando el mayor comportamiento elástico por parte de la muestra analizada.

5 Cierre

En este objeto de aprendizaje se han expuesto los fundamentos para la caracterización del comportamiento mecánico de un alimento viscoelástico mediante un ensayo transitorio de fluencia o creep-recovery, presentándose un ejemplo real de caracterización.

6 Bibliografía

- [1] Arslan, E.; Yener, M.E.; A. Esin, A. 2005. Rheologic characteristics of tahin/pekmez (sesame paste/concentrated grape juice) blends. J. Food Eng. 69(8):167-172.
- [2] Deniz, C.; Kahyaoglu, T.; Kapucu, S.; Kaya, S. 2008. Colloidal stability and rheological properties of sesame paste. J. Food Eng. 87(12):428-435
- [3] 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

