

Caracterización del comportamiento viscoelástico de un alimento mediante un ensayo de relajación

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

1 Resumen de las ideas clave

Casi todas las sustancias exhiben, en grados variables, propiedades viscoelásticas en la escala de esfuerzo o deformación en que son manipulados. Esto significa que su comportamiento mecánico es intermedio entre el de un sólido elástico perfecto y un líquido viscoso newtoniano. La respuesta de estos materiales a ciertos esfuerzos y deformaciones es ampliamente dependiente del tiempo. Su comportamiento puede caracterizarse mediante ensayos dinámicos (independientes del tiempo) o mediante ensayos transitorios (dependientes del tiempo). En este artículo vamos a presentar como podemos caracterizar el comportamiento viscoelástico de un alimento mediante un ensayo transitorio de relajación.

2 Introducción

Un gran parte de alimentos presentan comportamiento viscoelástico, es decir que, bajo condiciones de carga durante un tiempo de aplicación, el alimento se puede comportar como un sólido, un líquido y/o más frecuentemente como una combinación de los dos [1]. Este tipo de alimentos pueden caracterizarse de distintas formas. Una forma de caracterizar este comportamiento es mediante la realización de experiencias dinámicas u oscilatorias, en las que se hace variar el esfuerzo o la deformación de forma sinusoidal con el tiempo. Se tratan por tanto de ensayos dinámicos independientes del tiempo. Otra 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. Se tratan de ensayos transitorios dependientes del tiempo.

Uno de los ensayos transitorio dependiente del tipo más utilizado en muestras sólidas en el ensayo de relajación de esfuerzo. Consiste en aplicar una deformación de forma rápida (que pueda considerarse instantánea), y medir la variación del esfuerzo cortante con el tiempo. En este ensayo se obtiene el módulo de relajación $G(t)$, que se define como el cociente entre el esfuerzo σ y la deformación γ (ecuación 1)

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

Al tratarse de un alimento sólido, generalmente, este tipo de ensayos suele realizarse usando prensas universales.

Los ensayos se realizan aplicando al producto una deformación relativa constante y baja (por ejemplo, un 20%), durante un tiempo determinado (por ejemplo 10 minutos). La velocidad de compresión debe ser muy rápida, ya que lo que interesa evaluar es la respuesta de la muestra durante el proceso de relajación de esfuerzo.

El ensayo permite obtener una curva esfuerzo frente al tiempo (figura 1). La figura 1 representa la relación esfuerzo (stress) y deformación (strain) frente al tiempo (time) donde muestra el comportamiento de un material elástico ideal, un material viscoso ideal y un material viscoelástico ideal. Si tras la deformación, el esfuerzo cae rápidamente con el tiempo hablamos de materiales líquidos, si no cae hablamos de sólidos elásticos y el caso intermedio nos indica que el fluido tiene comportamiento viscoelástico.

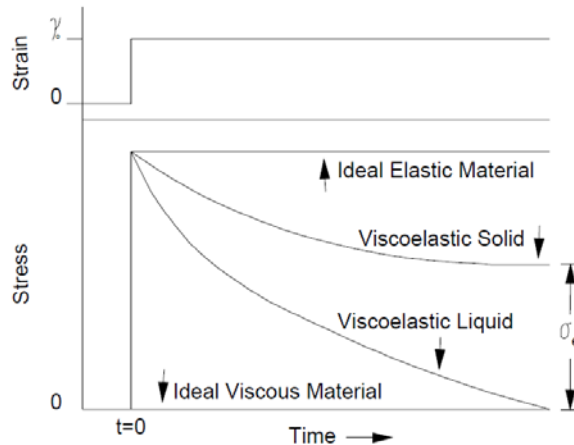


Figura 1. Ejemplo de un ensayo de relajación de esfuerzo

La curva obtenida de un ensayo de relajación esfuerzo puede analizarse empleando distintos modelos, como pueden ser el modelo de Maxwell, el modelo de Maxwell generalizado o el modelo de Peleg. De estos 3 modelos, uno de los más usados, debido a su simplicidad, es el modelo de Peleg

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 relajación de esfuerzo, utilizando para su análisis el modelo propuesto por Peleg^{[2],[3]}.

4 Desarrollo

En el punto 4.1 vamos a describir cómo podemos analizar los resultados obtenidos de un ensayo de relajación de esfuerzo a través del modelo de Peleg.

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

4.1 Análisis ensayo de relajación esfuerzo a través del modelo de Peleg

Una forma sencilla de interpretar las curvas de relajación obtenidas de un ensayo de relajación de esfuerzo es aplicando el modelo de Peleg ^{[2],[3]}. Consiste en normalizar y linealizar las curvas de relajación.

Las curvas pueden normalizarse aplicando la ecuación 2, donde F_0 es la fuerza a tiempo 0 de relajación, y $F(t)$ es la fuerza a tiempo t de relajación.

$$f(t) = \frac{F_0 - F(t)}{F_0} \quad (2)$$

Un análisis de la función $f(t)$ vs. t sugiere que su expresión matemática puede presentarse según la ecuación 3, donde a y b son constantes.

$$f(t) = \frac{abt}{1 + bt} \quad (3)$$

La constante a (adimensional) representa el nivel al que el esfuerzo cae durante la relajación. Si $a = 0$ el esfuerzo no se relaja (sólido), si $a = 1$ el esfuerzo llega al valor cero (líquido). Para valores entre 0 y 1, la constante a presenta el valor asintótico residual de $f(\infty)$.

La constante b (1/min) representa la velocidad a la cual el esfuerzo se relaja ($1/b$) y es el tiempo necesario para alcanzar el valor de $a/2$. Si $b = 0$ el esfuerzo no se relaja totalmente (sólido elástico ideal). En términos de la curva de relajación un valor elevado de b indica un descenso más marcado de la curva de relajación al valor residual.

Para simplificar la obtención de los valores de a y b , puede linealizarse la ecuación 3, dando lugar a la ecuación 4, propuesta por Finkowski y Peleg [4]. A través de la pendiente y la ordenada en el origen de la representación de $t/f(t)$ vs t , se determinan a y b . Valores bajos de estos parámetros se relacionan con mayor componente elástico.

$$\frac{t}{f(t)} = \frac{1}{ab} + \frac{t}{a} \quad (4)$$

Conocido el valor de fuerza máxima, el parámetro a , el área de contacto y la deformación inicial podemos determinar el módulo asintótico (5). Generalmente, cuanto mayor es el valor del módulo asintótico, más sólida es la estructura del alimento.

$$Ea = \frac{F_0(1-a)}{S \cdot \varepsilon_0} \quad (4)$$

4.2 Ejemplo real de caracterización de un alimento viscoelástico mediante un ensayo de relajación de esfuerzo

Con el fin de evaluar el efecto de la incorporación de goma de garrofin y/o sacarosa a geles de carragenato se han evaluado sus propiedades mecánicas mediante un ensayo de relajación. Para ello se han cortado cilindros de geles de 1 cm de radio y 2 cm de altura, se han deformado un 20% a una velocidad de 3.3 mm/s durante 10 minutos. La figura 2 muestra las curvas obtenidas del ensayo de relajación esfuerzo para una muestra de gel de carragenato, gel de carragenato y goma de garrofin, gel

de carragenato y sacarosa y gel de carragenato y una mezcla de goma de garrofín y sacarosa.

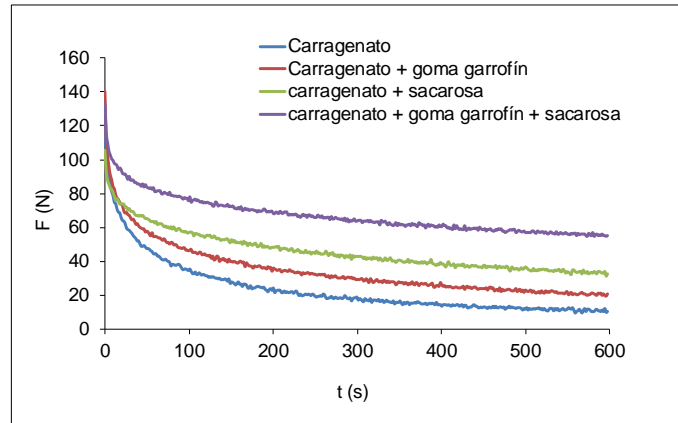


Figura 2. Curvas obtenidas del ensayo de relajación de esfuerzo

De las curvas podemos obtener el parámetro de fuerza máxima (F_0) presentados en la tabla 1.

Si aplicamos la ecuación propuesta por Finkowski y Peleg (ecuación 4), obtenemos la siguiente representación (figura 3).

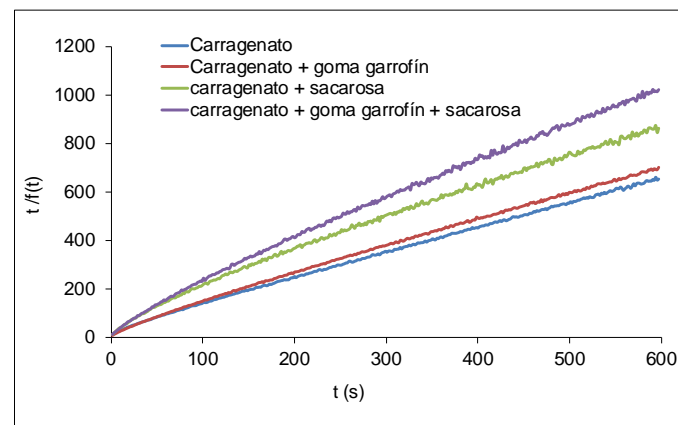


Figura 3. Curvas linealizadas obtenidas del ensayo de relajación de esfuerzo

A partir de las curvas mostradas en la figura 3 pueden obtenerse las constantes a y b . Conocida F_0 y las constantes a y b , aplicando la ecuación 5 puede obtenerse el módulo asintótico. La tabla 1 presenta todos estos valores.

A partir de los datos presentados en la tabla 1, se prevé que la adición de sacarosa y goma de garrofín aumenta la componente elástica dando lugar a una estructura más sólida, efecto más marcado cuando se combinan ambos ingredientes.

Tabla 1. Parámetros de Peleg

Gel	a	b (s ⁻¹)	Ea (Pa)	F _{max} (N)
Carragenato	0,954	0,031	88006	119,452
Carragenato + goma garrofin	0,891	0,031	244702	140,480
carragenato + sacarosa	0,735	0,017	445626	105,583
carragenato + goma garrofin + sacarosa	0,611	0,023	825143	133,321

5 Cierre

En este objeto de aprendizaje se han expuesto los fundamentos para la caracterización del comportamiento viscoelástico de un alimento mediante un ensayo transitorio de relajación y se ha presentado un ejemplo real de caracterización aplicando el modelo de peleg.

6 Bibliografía

- [1] Oliveros, T. (1995). Propiedades mecánicas de materiales biológicos, Memorias de seminario textura y reología de alimentos, Cali, Colombia.
- [2] Peleg, M. (1976). "Considerations of a general rheological model for the mechanical behavior of viscoelastic solid food material" J. Texture Studies. 7, 243 -256
- [3] Peleg, M. (1979). "Characterization of stress relaxation curves of solid foods" J. Food Sci. 44, 277 - 281.
- [4] Finkowski, W. y Peleg, M. (1981). Some rheological characteristics of soy extrudates in tension. J. Food Sci. 46, 207-211.