

# Método de ensayo para la determinación del módulo inicial de elasticidad de las fibras individuales \*

F. López-Amo  
J. M. Pons

## RESUMEN

Los autores describen un método para determinar el módulo inicial de elasticidad de las fibras individuales. Este método, deducido de una serie de ensayos interlaboratorios, es aplicable a todas las fibras, naturales o químicas, de al menos 20 mm de longitud y con un alargamiento específico de rotura inferior al 200 %.

## RESUME

Les auteurs décrivent une méthode de mesure pour déterminer le module initial d'élasticité des fibres individuelles. Cette méthode, issue d'une série d'essais interlaboratoires, est applicable à toutes les fibres, naturelles ou chimiques, d'au moins 20 mm de longueur et dont l'allongement spécifique de rupture est inférieur à 200 %.

## SUMMARY

The authors describe a measuring method which makes it possible to determine the initial modulus of elasticity of individual fibres. This method is issued from a series of interlaboratory tests and is applicable to all fibres, natural or chemical ones, at least 20 mm long and the specific breaking elongation of which is less than 200 %.

## INTRODUCCION

Para el buen conocimiento del comportamiento dinamo-elástico de las fibras sometidas a un esfuerzo de tracción, el módulo de elasticidad es un parámetro indispensable que, sin embargo, no es muy utilizado ni muy conocido, salvo para algunas fibras químicas y en especial las denominadas de «alto módulo». Por otra parte, cuando se trata de determinarlo, se efectúa

---

\* Este trabajo fue publicado en «Annales Scientifiques Textiles Belges», 1975, 2.

sobre un número limitado de fibras por lo que actuando así, el método empleado no es suficientemente reproducible. El módulo de elasticidad o módulo inicial, debe ser deducido de la curva «carga específica/alargamiento» característica de una población de fibras, con una precisión suficiente. Esta curva y este módulo así obtenidos y en condiciones experimentales bien determinadas, deben presentar un grado de confianza suficiente para ser considerados representativos y característicos de una u otra fibra.

Dentro del campo de trabajos del G.E.D.R.T. —Grupo Europeo para la Dirección de la Investigación Textil— un Grupo de Trabajo se ocupó de esta cuestión y se fijaron los siguientes objetivos:

- estudiar especialmente los fenómenos de resistencia y alargamiento de fibras individuales, con su curva característica;
- encontrar un método que permita obtener la curva media de carga-alargamiento de las fibras individuales que componen una muestra, por medio de un dinamómetro que trabaje de preferencia con un gradiente de alargamiento constante; y a partir de esta curva, determinar el módulo de elasticidad.

El Grupo de Trabajo efectuó numerosos ensayos interlaboratorios y, de estas experiencias, así como de los comentarios de los Laboratorios participantes (1), se ha deducido el método que se describe a continuación.

## 1. DEFINICIONES

1.11 — *Carga (F)*: fuerza de tracción que se aplica a la fibra según su eje. Unidad: gramo-fuerza (gf) o centi-Newton (cN).

1.12 — *Carga específica (f)*: fuerza aplicada por unidad de masa lineal de la fibra (tex)

$$f = \frac{F}{M};$$

a veces se le denomina «tensión». Unidad: (gf/tex), o bien centinewtons por tex (cN/tex).

1.13 — *Carga de rotura (R)*: carga bajo la cual la fibra se rompe. Con frecuencia, se le denomina «resistencia a la tracción».

1.14 — *Tenacidad ( $\theta$ )*: Carga específica de rotura. Se expresa en gramos-fuerza por tex. Este valor coincide con la «longitud de rotura» expresada en kilómetros.

1.21 — *Alargamiento ( $\Delta l$ )*: Aumento de longitud experimentado por una fibra bajo una carga. Se le expresa en milímetros (alargamiento absoluto).

---

(1) Los Laboratorios que han participado en estos trabajos son: Centexbel (Tubise), Institut Textile France (París), Vezelinstituut TNO (Delf), Stazione Sperimentale per la Cellulosa (Milano), Ecole Fédérale Poly-technique (Zurich), Instituto de Tecnología Química y Textil (Barcelona), Acondicionamiento Tarrasense (Tarrasa), Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (Tarrasa) e Instituto de Investigación Textil (Tarrasa).

1.22 — *Alargamiento relativo* ( $a, A$ ): Aumento de longitud de la fibra, referido a la longitud inicial.

$$a = \frac{\Delta l}{l_0} \quad \text{o bien,} \quad A = 100 \cdot \frac{\Delta l}{l_0}, \text{ en \%}$$

1.23 — *Alargamiento específico de rotura* ( $a_R, A_R$ ): Alargamiento relativo alcanzado bajo la carga de rotura.

$$a_R = \frac{\Delta l}{l_R} \quad \text{o bien,} \quad A_R = 100 \cdot \frac{\Delta l}{l_R}, \text{ en \%}$$

1.3 — *Curva carga/alargamiento*: Curva que produce la carga aplicada a una fibra (en gf/tex, o en cN/tex) en función del alargamiento bajo cada una de las cargas.

1.41 — *Módulo de elasticidad* ( $E$ ), llamado también módulo inicial o módulo de Young. Es una medida de la carga específica necesaria para producir un pequeño alargamiento del orden de  $A = 1\%$ , de la zona de elasticidad de la curva

$$E = \frac{f}{A} = \operatorname{tg} \alpha$$

Puesto que la zona elástica de la curva viene dada por una recta, el módulo inicial es también la pendiente en el origen de la curva carga-alargamiento. Se expresa en gf/tex, como la carga específica.

1.42 — *Módulo secante al 2,5 %* ( $E_s$ ): es la pendiente angular de la recta trazada desde el origen al punto de la curva que corresponde a un alargamiento del 2,5 %; o bien, el resultado del cociente de la carga específica que produce un alargamiento relativo del 2,5 % por 2,5; es decir:

$$E_s = \frac{f_{2,5}}{2,5} = 0,4 \cdot f_{2,5} \quad (\text{en gf/tex, o en cN/tex})$$

Es un parámetro práctico, fácil de obtener tanto analítica como gráficamente.

## 2. PRINCIPIO Y CAMPO DE APLICACION

Como el método debe ser siempre reproducible, debe ser aplicado en condiciones bien especificadas. El ensayo de tracción debe ser realizado por medio de un dinamómetro de gradiente de alargamiento constante, que comprende un dispositivo registrador continuo de la carga aplicada a la fibra y del alargamiento hasta la rotura. Esta rotura debe efectuarse dentro de unos límites de duración del ensayo previamente establecidos.

Para expresar la carga específica, deberá conocerse la masa lineal de cada fibra, o al menos, la media de las fibras sometidas al ensayo.

Este método es aplicable a todas las fibras, naturales y químicas, cuyo alargamiento específico de rotura sea inferior al 200 % y cuya longitud sea al menos de 20 mm.

### **3. APARATOS**

#### **3.1. Plan de muestreo**

El muestreo debe efectuarse según la Recomendación ISO R 1130 «Métodos de muestreo de las fibras para ensayos».

#### **3.2. Vibroscopio**

Actuando sobre fibra individual sometida a tensión, da la masa lineal o título de la fibra en dtex, y debe disponer de dos escalas adaptadas a la finura de la fibra.

#### **3.3. Air-Flow y balanza**

Se aconseja trabajar con el dispositivo permeamétrico a flujo constante de aire, entre 10 y 20 litros/min y con una probeta de fibras de  $1,5 \text{ g} \pm 2 \text{ mg}$ , para la lana. La balanza debe tener una precisión de, al menos,  $\pm 2 \text{ mg}$ .

El aparato debe estar perfecta y frecuentemente equilibrado, verificando la precisión de las lecturas de la escala manométrica en relación con las masas lineales de las fibras ensayadas, según su peso específico.

En caso de duda, debe consultarse la norma FLI 6-65 «Método de medición del diámetro medio de las fibras de lana con el Aparato Air-Flow».

#### **3.4. Dinamómetro**

El dinamómetro debe ser del tipo de «gradiente de alargamiento constante», regulando su velocidad de forma que la rotura se produzca, por término medio, en un tiempo de ensayo de  $20 \text{ s} \pm 2 \text{ s}$ , o si es necesario, a otra velocidad a precisar.

El dispositivo de registro gráfico debe dar una amplificación tal que:

— el punto máximo de la escala de cargas corresponda a una longitud mínima de 100 mm de diagrama, o al menos 1 mm sobre el diagrama para el 1 % de la escala de cargas.

— el alargamiento medio absoluto de rotura sea representado por una longitud de al menos 100 mm.

El error máximo sobre la carga registrada no debe, para ningún valor del intervalo de utilización, ser superior al 1 % de la carga real. Antes de emplear el aparato, se debe verificar la precisión de la indicación de las cargas efectuando un equilibrado previo.

#### **3.5. Pinzas**

Cada una de las pinzas de agarre de las fibras durante el ensayo está constituido de dos partes cuyas caras de sujeción son planas, llevando even-

tualmente una guarnición, de forma que no permita la modificación de la longitud inicial de la probeta entre pinzas. Las caras de sujeción de las dos mordazas de cada pinza deben quedar paralelas después del cerrado de las pinzas. Cada pinza debe poder ser separada del dinamómetro, a fin de que el control del paralelismo y del reglaje de la presión de agarre pueda efectuarse en condiciones cómodas.

La presión de agarre debe ser cuidadosamente controlada para los ensayos sucesivos hasta conseguir la desaparición de todo deslizamiento bajo tracción manual hasta la rotura, evitando su rotura o cizallamiento.

Se deben efectuar sistemáticamente los equilibrados previos antes de empezar el ensayo de una serie homogénea de fibras.

## **4. CONDICIONES DE ENSAYO**

### **4.1. Longitud de la probeta**

Cada una de las fibras sometidas a ensayo, debe tener una longitud de al menos 30 mm, y la longitud inicial entre pinzas deberá ser de 20 mm  $\pm$  0,1 mm. En casos determinados, se podrá reducir esta longitud inicial a 10 mm, pero indicando expresamente la longitud empleada.

### **4.2. Tensión previa**

Cuando la fibra ha sido fijada por uno de sus extremos en la pinza superior, se la debe someter a una tensión o carga previa al ensayo, antes de fijarla en la pinza inferior. Esta tensión será, salvo indicaciones al contrario, de 0,5 g/tex.

### **4.3. Tamaño de la muestra**

El número de fibras que constituyen la muestra está en función de la dispersión de los valores encontrados, y de la precisión que se desee. Cuando se desee obtener un nivel de seguridad del 95 %, el número de ensayos a efectuar debe ser de

$$n = \left( \frac{2 \text{ CV}}{L_c} \right)^2$$

Dependerá, pues, del coeficiente de variación (CV) de la población de fibras y del límite de confianza ( $L_c$ ) que se adopte. Este último valor,  $L_c$ , puede ser, para este tipo de ensayos, del 5 %, del 4 %, o más raramente del 2 %, si se quiere una mayor precisión. El número de fibras,  $n$ , es generalmente redondeado al múltiplo más próximo de 50. Asimismo, si el CV es muy bajo, se aconseja que  $n$  no sea jamás inferior a 50.

### **4.4. Muestreo**

A fin de evitar el sesgo que se produciría si se toma un pequeño número de fibras de un mechón o de una cinta mediante los dedos o de una pinza,

puesto que se tomarían las fibras largas con mayor probabilidad que las cortas, se aconseja hacer un muestreo siguiendo la Recomendación ISO R 1130 «Métodos de muestreo de fibras para ensayos», efectuando siempre un muestreo numérico.

#### 4.5. Acondicionamiento previo

Todos los ensayos para la determinación de la curva carga-alargamiento de las fibras deben efectuarse en atmósfera normal:  $21^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  de temperatura y  $65\% \pm 2\%$  de humedad relativa. La muestra de donde deben tomarse las probetas debe acondicionarse previamente, al menos durante 24 horas.

### 5. DETERMINACION DE LA MASA LINEAL DE LAS FIBRAS

Algunos laboratorios han determinado la masa lineal individual de cada fibra a ensayar por medio del Vibroscopio. Conociendo este título y determinando a continuación la curva correspondiente en el dinamómetro, se pueden indicar las cargas específicas referidas a distintos alargamientos. Se admite que las cargas específicas de las fibras de una misma materia presente una dispersión menor que la de las cargas simplemente, lo que permite reducir el tamaño de la muestra y, en consecuencia, el número de ensayos. Sin embargo, los ensayos en el Vibroscopio requieren un cierto tiempo. Además, la sensibilidad de la medición no es aún suficiente y puede que la parte de la fibra medida no sea la misma que la que a continuación es sometida a la tracción en el dinamómetro.

Si la masa lineal media de un conjunto de fibras que pertenezcan a la muestra se determina globalmente en un aparato Air-Flow, este valor medio puede ser aplicado a todas las fibras ensayadas.

Se aconseja emplear este último método, más práctico, ya que las diferencias obtenidas entre los resultados de uno u otro procedimiento son casi nulas.

### 6. MODO OPERATORIO

La velocidad de alargamiento y el tiempo de rotura de la fibra, son dos factores que están unidos. En efecto; el tiempo de rotura en segundos puede ser expresado por

$$T_R = \frac{60 \cdot l \cdot A_R}{100 \cdot V_A}$$

siendo  $l$  la longitud de la probeta en mm,  $A_R$  el alargamiento a la rotura en %, y  $V_A$  la velocidad de alargamiento en mm/min. De ello se deduce que

$$T_A = \frac{60 \cdot l \cdot A_R}{100 \cdot T_R};$$

y si  $l = 20$  mm y  $T_R = 20$  s, como se recomienda, la velocidad de alargamiento vendrá determinada por

$$V_A = 0,6 \cdot A_R$$

Es menester verificar frecuentemente el buen estado de las pinzas y, con precisión, la distancia entre ellas, la cual debe ser de 20 mm  $\pm$  0,1 o bien 10 mm  $\pm$  0,1.

En el gráfico obtenido, las curvas deben estar suficientemente separadas para poder leer sobre las mismas, con precisión y sin interferencias, las cotas de los parámetros medidos.

Conociendo la masa lineal media  $M$ , o el valor individual  $M_i$  de cada una de las fibras, la carga  $F$ , obtenida en el dinamómetro, es transformada en carga específica  $f$  por la fórmula

$$f = \frac{F}{M} \quad \text{expresada en (gf/tex) o (cN/tex).}$$

Para cada una de las curvas de una muestra, se deben calcular los valores de la carga específica correspondiente a los alargamientos porcentuales  $A$ , siguientes:

2,5 - 5 - 10 - 20 - 30 - 40 - 50 - 60 % y a la rotura

Para cada uno de estos nueve resultados, se calcula la media aritmética y el coeficiente de variación. Con los nueve valores medios, se obtienen nueve puntos ( $f_i, A_i$ ) a partir de los cuales se puede construir la curva característica de la muestra ensayada. Además, cada punto debe comportar sus límites de confianza calculados por la fórmula

$$f \pm \frac{t \sigma}{\sqrt{n}}$$

siendo  $\sigma$  la desviación típica de cada punto.

## 7. TRAZADO DE LA CURVA CARACTERISTICA

Para uniformizar la presentación, cada curva será trazada sobre una hoja de papel milimetrado, adoptándose las siguientes escalas:

— en abscisas: alargamiento en porcentajes, empleando 4 mm por cada 1 %.

— en ordenadas: carga unitaria (gf/tex), empleando 5 mm por 1 gf/tex.

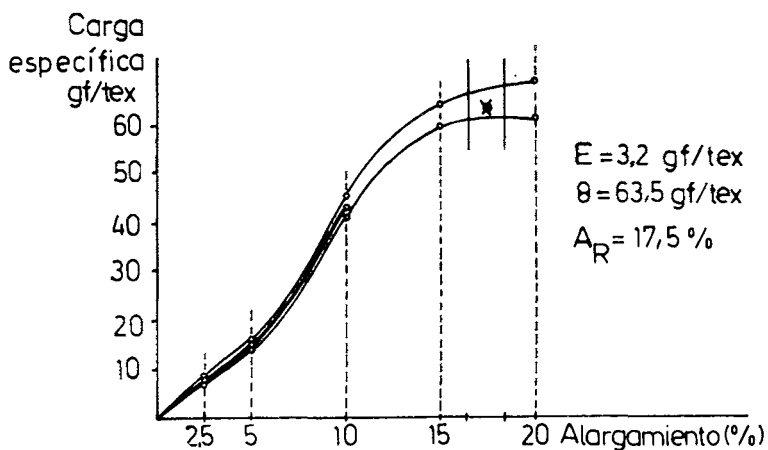
Para su construcción se tomarán como puntos de referencia, aquellos en que la carga específica media corresponde a cada uno de los alargamientos de 2,5 %, 5 %, 10 %, 20 %, 30 %, etc., que todas las fibras de la muestra sobrepasen; la curva se interrumpirá a partir del alargamiento correspondiente a la primera rotura. Sin embargo, un punto singular señalará la posición de la tenacidad media ( $\theta$ ) con su alargamiento de rotura ( $\bar{A}_R$ ) respectivo.

Al objeto de dar una mayor precisión en la representación de este fenómeno teniendo en cuenta los errores de muestro, se trazan dos curvas límites a uno y otro lado de la curva de las medias. Estas dos curvas delimitarán la

zona de confianza según el cálculo indicado en el párrafo 6. Sobre las ordenadas de los alargamientos que no todas las fibras han sobrepasado, no figurarán los puntos medios, pero sí aquellos correspondientes a los límites de confianza, los cuales se irán separando a medida que el número de fibras que hayan sobrepasado este alargamiento, disminuya. El punto singular de rotura ( $\bar{A}_R, \bar{\theta}$ ) estará enmarcado por las dos curvas y por las dos ordenadas correspondientes a los límites de confianza de  $A_R$ .

## 8. DETERMINACION Y EXPRESION DEL MÓDULO INICIAL (MÓDULO SECANTE AL 2,5 % DE ALARGAMIENTO)

Una vez que se ha obtenido la curva característica, se ha convenido tomar como módulo inicial la pendiente del primer segmento de recta. Es la que une el origen (0,0) con el punto de carga específica necesaria para producir el alargamiento del 2,5 % ( $2,5, f_{2,5}$ ). Si no es recto, se reemplaza por su secante, el verdadero primer segmento, difícilmente conocido con precisión, puesto que



Curva media «carga-alargamiento» sobre fibra individual de Poliéster 1,6 dtex (un caso particular)

es aquí donde las diferencias entre los laboratorios han sido mayores. Por esta razón, se acepta el *módulo secante al 2,5 %*, como expresión práctica del módulo de elasticidad de las fibras.

Sin necesidad de hacer el trazado gráfico, se puede calcular por la expresión

$$E_s = \frac{f_{2,5}}{A_{2,5}} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{f_{2,5}}{2,5} = 0,4 \cdot f_{2,5} ,$$

que expresa la carga específica necesaria para un alargamiento del 1 %. Se ha juzgado útil adoptar esta expresión para definir lo que suceda realmente en la zona de elasticidad de las fibras, en lugar de otra expresión que ha sido



empleada por algunos autores y que define la carga específica necesaria para un alargamiento del 100 %, cosa que no es realista, salvo en el caso de hilos muy elásticos.

Estando expresada la carga específica en (gf/tex) o bien en (cN/tex), el módulo inicial se expresará también en esa misma unidad. Esta no es la tenacidad, que supone la rotura, sino solamente la carga específica para un pequeño alargamiento.

La figura muestra la tendencia de las curvas y da los valores del módulo secante y las medias de la tencidad y del alargamiento a la rotura de una fibra de poliéster.



Nuestros servicios técnicos  
y comerciales están  
a su disposición en:

**Casa Central:**  
Barcelona-13  
Gran Via de les Corts Catalanes, 764  
Tels. 245 17 00 - 246 48 00

**Sucursal - Centro-Sur:**  
Madrid-1  
Ayala, 70  
Tel. 401 80 50

**Oficinas en Sevilla-11:**  
Pl. de Cuba, 3  
Tel. 27 37 02

**Sucursal Norte:**  
San Sebastián  
San Martín, 14, 2.º  
Tels. 42 38 42 - 42 39 33

**Oficinas en la Coruña:**  
Durán Lóriga, 9, 4.º F.  
Tel. 22 67 58

**Sucursal Levante:**  
Valencia-4  
Ciriilo Amorós, 51, 2.º  
Tel. 322 75 24

**Fábrica y almacén general en:**  
Polígono Industrial Pratense  
El Prat de Llobregat  
Vista aérea



**COLORANTES, PIGMENTOS Y  
PRODUCTOS QUIMICOS,  
PARA LAS INDUSTRIAS:**

**TEXTIL  
CURTIDOS  
PAPEL  
PLASTICOS  
PINTURAS  
TINTAS GRAFICAS  
ETC.**

**SANDOZ, S.A.E.**