



## LAS PROPIEDADES MECÁNICAS, REGULARIMÉTRICAS Y VISCOELÁSTICAS DE HILADOS DE LINO

**Ana María Islas Cortes**

*Instituto Politécnico Nacional, ESIT*

*amislas@ipn.mx*

**Gabriel Guillén Buendía**

*Instituto Politécnico Nacional, ESIME Azcapotzalco*

*gguillen@ipn.mx*

**Yolanda Montoya Vargas**

*Instituto Politécnico Nacional, ESIT*

*yolanda\_mvarg@hotmail.com*

### Resumen

*Se analizaron las propiedades mecánicas, friccionales para superficies de acero y cerámica y regularidad de masa de los hilados de lino, así como su comportamiento viscoelástico al someterse a tensión usando los modelos de Maxwell, Vangheluwe y sus correspondientes versiones modificados. Los hilados en estudio fueron de título nominal de 26.3 tex y 500 torsiones/metro. Se concluye que los hilados corresponden a alta calidad para uso en la industria textil, así como el ajuste numérico de los cuatro modelos viscoelástico resultaron significativos al 99% de confianza estadística.*

*Palabras clave: Hilados de lino, propiedades mecánicas, regularidad de masa de hilados, comportamiento friccional, modelos viscoelásticos.*

Las fibras de lino son muy valoradas en la industria textil, ya que proporcionan tejidos cómodos y elegantes, aunque de un alto costo; debido a su costo de cultivo y al proceso de producción de la fibra. Para solucionar este

problema, las industrias textiles producen la fibra de lino se mezcla con otras fibras como el algodón y la viscosa, sin perder sus características. Además, el lino suele recibir un baño de resina dándole un aspecto encerado que



hace que se arrugue menos.  
[<https://telas.com/el-lino-tejido-noble/>].

El lino fue una de las primeras fibras que el hombre uso, antes que la lana. El lino es una hierba perteneciente a la familia de las *lináceas*, existen más de 80 variedades. La más común es de ciclo anual y mide de 20 a 60 centímetros de altura, muy ramificada, con hojas planas y flores violeta en cada uno de los extremos. (Carrión, 1995).

### PARTE EXPERIMENTAL.

Para el desarrollo del presente estudio se sometió al ensayo de tracción a hilados de título 26 tex y 500 torsiones /metro fabricados con fibras de lino, se usó un dinamómetro Statimat M de Textechno.

Asimismo, también fueron evaluados en cuanto a nivel de torsión, coeficiente a la fricción dinámica en superficie de acero y superficie cerámica usando un aparato F-meter de Rothschild, así como su regularidad de masa realizado en un Uster Tester 3. Cabe señalar que los hilados analizados fueron previamente acondicionados durante 24 horas en una atmósfera normalizada a  $65\% \pm 2\%$  HR (Humedad Relativa) y  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

Partiendo de la curva carga-deformación de los hilados de lino obtenida en ensayo de tracción, se ajustaron los modelos de Maxwell, Vangheluwe y sus correspondientes versiones modificados.

Los modelos viscoelásticos están constituidos por elementos mecánicos, como muelles y émbolos colocados a conveniencia. La ecuación (1) corresponde a la tensión  $\sigma$  (cN/tex) del muelle, donde K es su módulo (cN/tex).

$$\sigma = K \varepsilon \quad (1)$$

La tensión  $\sigma$  (cN/tex) del émbolo es (2), donde su viscosidad es  $\eta$  (cN.s/tex).

$$\sigma = \eta \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (2)$$

El elemento de Maxwell propuesto en 1868, está constituido por un muelle lineal y un émbolo colocado en serie, su ecuación diferencial es:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{1}{K} \frac{d\sigma}{dt} + \frac{\sigma}{\eta} \quad (3)$$

La ecuación (4) es la solución de (3).

$$\sigma = A \varepsilon e^{-B\varepsilon} \quad (4)$$

Donde A y B son constantes numéricas a determinar.

El elemento de Maxwell se modifica al sustituir el muelle lineal por otro muelle no lineal de la deformación; por ende, su ecuación resultó:

$$\sigma = A \varepsilon^C e^{-B\varepsilon^C} \quad (5)$$

Donde A, B y C son constantes numéricas a determinar.

Vangheluwe en 1992, investigó la influencia de la razón de deformación en las curvas de tensión-deformación de los hilados fabricados en el sistema de anillos y sistema de rotores usando un modelo viscoelástico constituido por un elemento de Maxwell colocado en paralelo con un muelle no lineal. La ecuación diferencial que gobierna al elemento de Maxwell es:

$$\frac{d^2 \varepsilon}{dt^2} = \frac{1}{E} \frac{d^2 \sigma}{dt^2} + \frac{1}{\eta} \frac{d\sigma}{dt} \quad (6)$$

Mientras que, la ecuación siguiente corresponde al muelle no lineal:

$$\sigma = K \varepsilon^2 \quad (7)$$

La relación teórica entre la tensión y deformación del hilado sometido a una razón constante de alargamiento, está dada por la solución de las dos ecuaciones señaladas, como se escribe:

$$\sigma = A(1 - e^{-B\varepsilon}) + C\varepsilon^2 \quad (8)$$

El modelo modificado del mismo nombre, resultó:

$$\sigma = A(1 - e^{-B\varepsilon^D}) + C\varepsilon^D \quad (9)$$

## RESULTADOS Y ANÁLISIS.

Del ensayo de tracción aplicado a los hilados de lino, se obtuvo la curva carga-deformación ilustrada en la figura 1.

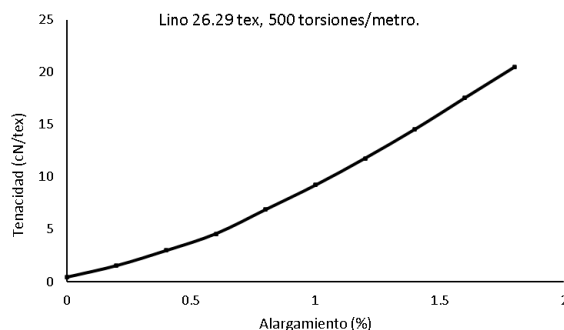


Figura 1. Curva carga-deformación de los hilados de lino obtenida del ensayo de tracción realizado en un Statimat M de Textechno (elaboración propia).

La tabla siguiente contiene los valores de alargamiento  $\varepsilon$  (%) y tenacidad  $\sigma$  (cN/tex) de la curva antes ilustrada.

Tabla 1. Valores obtenidos del ensayo de tracción a un hilado de lino de 26 tex y 500 torsiones /metro (elaboración propia).

$\varepsilon$ (%)	$\sigma$ (cN/tex)
0.0	0.439
0.2	1.537
0.4	2.976
0.6	4.584
0.8	6.888
1.0	9.216
1.2	11.784
1.4	14.544
1.6	17.520
1.8	20.472

Las propiedades mecánicas de los hilados de lino se ilustran en la tabla 2.

Tabla 2. Propiedades mecánicas de los hilados de lino (elaboración propia).

	Lino
Título (tex)	26.29
Alargamiento (%)	1.88
Fuerza rotura (cN)	555.49
Tenacidad (cN/tex)	21.12
Trabajo (cN.cm)	223.70
Módulo 2.5% (cN)	169.32

El nivel de torsión y los coeficientes de fricción de los hilados en estudio, se ilustraron en la tabla 3, aparece el valor promedio de cinco lecturas y su intervalo al 95%.

Tabla 3. Propiedades dinamométricas de hilados de lino (elaboración propia).

	Lino
Torsiones (t/m)	495.6 ± 38.35
Fricción acero	0.342 ± 0.061
Fricción cerámica	0.146 ± 0.013

En cuanto a la regularidad de masa de los hilados en estudio, la table 4 proporcionó los coeficientes de variación CV (10 m), partes delgadas/km, partes gruesas/km, neps/km y vellosidad.

Tabla 4. Propiedades de regularidad de masa de hilados de algodón peinado (elaboración propia).

	Lino
CV (10 m)	5.880
Partes delgadas/km	2,687.0
Partes gruesas/km	2,605.0
Neps/km	3,694.0
Vellosidad	2.190

Con relación a los ajustes numéricos de los modelos mecánicos sobre la curva carga-deformación de los hilados de lino, la ecuación siguiente corresponde al modelo de Maxwell, donde se obtuvo una bondad de ajuste significativa al 99%.

$$\sigma = 6.92599 \varepsilon e^{0.28133 \varepsilon} \quad (10)$$

$$r = 0.9995, \quad R^2 = 0.9988$$

Lo antes señalado se indica en la figura 2.

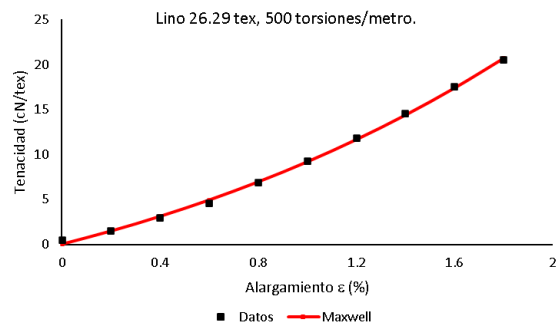


Figura 2. Ajuste numérico del modelo de Maxwell sobre los hilados de lino (elaboración propia).

El ajuste numérico del modelo modificado de Maxwell sobre los hilados en estudio, se indica a continuación:

$$\sigma = 5.6651 \varepsilon^{0.86432} e^{0.47599 \varepsilon^{0.86432}} \quad (11)$$

$$r = 0.9993, \quad R^2 = 0.99868$$

El ajuste es significativo al 99% de confianza, lo cual se graficó a continuación:

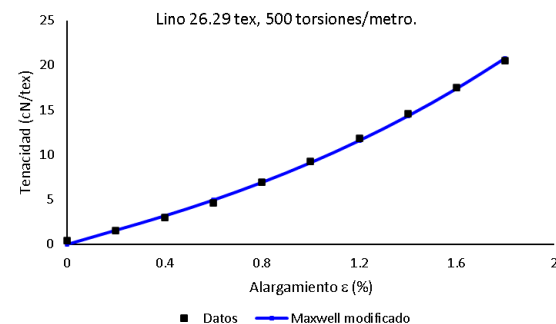


Figura 3. Ajuste numérico del modelo de Maxwell modificado sobre los hilados de lino (elaboración propia).

Continuando con los ajustes numéricos, en la ecuación (12) se indica el modelo de

Vangheluwe sobre la curva de los hilados de lino. Dicho ajuste resultó significativo al 99% de confianza estadística, de acuerdo con sus parámetros de correlación y coeficiente de determinación.

$$\sigma = 13.0463(1 - e^{-0.5098 \varepsilon}) + 3.9391\varepsilon^2 \quad (12)$$

$$r = 0.9996, R^2 = 0.9991$$

La figura 4 indica lo antes señalado.

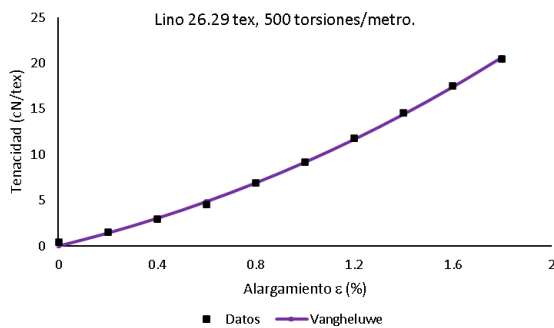


Figura 4. Ajuste numérico del modelo de Vangheluwe sobre los hilados de lino (elaboración propia).

Finalmente, aparece el ajuste numérico del modelo de Vangheluwe modificado, que señala una bondad de ajuste del 99%.

$$\sigma = 15.1788(1 - e^{-0.05537 \varepsilon^{1.33658}}) + \dots$$

$$\dots + 8.50678\varepsilon^{1.33658} \quad (13)$$

$$r = 0.9994, R^2 = 99883$$

En la figura 5 se ilustró la bondad de ajuste antes señalada.

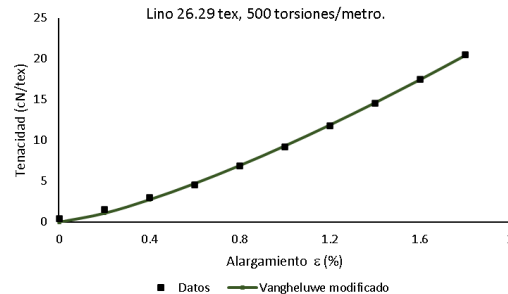


Figura 5. Ajuste numérico de modelo de Vangheluwe modificado sobre hilados de lino (elaboración propia).

### Conclusiones.

Los hilados en estudio resultaron de alta calidad en cuanto a sus propiedades mecánicas, friccionales y de regularidad de masa, acorde con los requerimientos de la industria textil. En cuanto a su comportamiento viscoelástico, se concluye que los modelos de Maxwell y Vangheluwe, así como sus versiones modificadas ajustaron todos ellos a un nivel de confianza del 99%. Cabe destacar que los parámetros de los modelos viscoelásticos son de uso en el control de calidad al correlacionarlo con las condiciones de sus procesos.

### Referencias

- Ribes y Casal (2013) El lino, tejido noble. <https://telas.com/el-lino-tejido-noble/> Consulta peligrosa
- Carrión Fité, F. J. *Materials Pel Disseny de Productes Tèxtils: LINO*, Escola D'Enginyeria de Terrassa EET, Universitat Politècnica Catalunya.
- Vangheluwe, L. (1992), *Influence of Strain Rate and Yarn Number on Tensile Test Result*, Textile Research J., 62, 586-589.
- Manich, A. M. et al (2000), *Viscoelastic modelling of Natural and Synthetic Textile*



- Yarns*, Journal of Applied Polymers Science, 76(14): 2063.
5. Collier, B. J. & Epps, H. H. (1999), *Textile Testing and Analysis*, Prentice-Hall Inc., ISBN 0-13-488214-8.
  6. Montgomery, D. C. & Runger, G. C. (2003). *Applied Statistics and Probability for Engineers*, Sixth Edition, Wiley, ISBN 13-97811185397