

# MODELO ELÍPTICO PARA LA SECCIÓN DEL HILADO. PARTE 1: PREDICCIÓN Y AJUSTE DE UN MODELO ELÍPTICO PARA HILADOS CONVENCIONALES DE ALGODÓN (RS)

M.H. Kasem\*, J.A. Tornero\*\* y A. Riva\*\*\*

## 0.1. Resumen

Uno de los parámetros fundamentales para el estudio de la geometría del tejido es el "diámetro" del hilado. A primera vista puede parecer que el hilado tiene una sección circular, pero en realidad no es así, tiene una sección aproximadamente elíptica. Esta aproximación a la elipse requiere una medición del diámetro mayor y menor ( $D$  y  $d$ ); estas mediciones son difíciles, por lo que se hace necesario encontrar un nuevo método para solucionar este problema. El presente estudio consiste en diseñar un modelo matemático para calcular los diámetros ( $D$  y  $d$ ) de la sección elíptica del hilado convencional de algodón, una nueva metodología para la determinación del perímetro de la sección de los hilados y ajuste a la forma elíptica a la que más se aproxima. Como resultados las secciones de los hilados son elipses con una cierta deformación; las ecuaciones deducidas son muy simples ( $D = K_1 \sqrt{tex}$ ,  $d = K_2 \sqrt{tex}$ ) y tienen una alta correlación y simulación con los diámetros reales.

**Palabras clave:** sección, elipses, diámetro del hilado, volumen específico, excentricidad, ajuste de las elipses.

## 0.2. Summary: ELLIPTICAL MODEL FOR YARN CROSS SECTION. PART 1: PREDICTION AND FITTING OF AN ELLIPTICAL MODEL FOR COTTON RING SPUN YARNS

One of the main dimensions requisite in the study of fabric geometry is the "diameter" of yarn, a first assumption being that a yarn has a circular cross-section, but in fact the shape of the yarn cross-section can best be approximated as ellipses. This approximation requires the estimation of the major and minor diameters ( $D$ ,  $d$ ); these estimations are difficult (according to various studies) therefore it is necessary to find a new approach to solve this problem. In the present research work it has been carried out a mathematical prediction study for calculate the diameters ( $D$ ,  $d$ ) of the ellipses of cotton cross-section yarns, and a new methodology for determination the cross-section profile and ellipses fitting. As a result the cross-sections of the yarns are ellipses with some deformation; the equations deduced are very simple ( $D = K_1 \sqrt{tex}$ ,  $d = K_2 \sqrt{tex}$ ) and has a high correlation and simulation with actual diameters.

**Key words:** section, ellipses, diameter of yarn, specific volume, eccentricity, ellipse adjustment.

## 0.3. Résumé: MODÈLE ELLIPTIQUE POUR LA SECTION DU FILÉ 1<sup>RE</sup> PARTIE : LA PRÉDICTION ET L'AJUSTAGE D'UN MODÈLE ELLIPTIQUE POUR FILÉS CONVENTIONNELS À ANNEAUX EN COTON (RS)

Le diamètre du filé est l'un des paramètres essentiels dans l'étude de la géométrie d'un tissu. À première vue, il semblerait que le filé a une section circulaire. Or, ce n'est pas le cas, sa section est presque elliptique. Cette section proche de l'ellipse requiert une mesure des diamètres majeur et mineur ( $D$  et  $d$ ); ces mesures étant difficiles, il faut mettre au point une autre méthode pour résoudre le

\* Dr. Ing. Mohamed Hussein Kasem. Investigador del "Engineering Textile Department" del "National Research Centre" de El Cairo (Egipto). Estancia postdoctoral en el INTEXTER (U.P.C.)

\*\* José Antonio Tornero García, Ing. Industrial. Lab. de Sistemas y Procesos Textiles. INTEXTER (U.P.C.)

\*\*\* Dra. Ascensión Riva Juan. Profesora Titular de Universidad del Departamento de Ingeniería Textil y Papelera (U.P.C.). Jefa del Laboratorio de Físico-Química de la Tintura y Acabados del INTEXTER (U.P.C.)

*problème. L'étude consiste à établir un modèle mathématique pour calculer les diamètres (D et d) de la section elliptique du filé conventionnel en coton, une nouvelle méthodologie pour déterminer le périmètre de la section des filés et l'ajustage sur la forme elliptique la plus proche. Résultat, les sections des filés sont des ellipses légèrement déformées ; les équations déduites sont très simples ( $D = K_1 \sqrt{tex}$ ,  $d = K_2 \sqrt{tex}$ ) et elles ont une corrélation et une simulation importantes par rapport aux diamètres réels.*

**Mots clé:** section, ellipses, diamètre du filé, volume spécifique, excentricité, ajustage des ellipses.

## 1. INTRODUCCIÓN

Una de las áreas de la tecnología textil es la geometría de la estructura del tejido, un tema que forma una base racional sobre la cual basar un estudio científico sobre la construcción del tejido. El aspecto, el tacto, caída y el comportamiento general del tejido depende de factores tales como: los materiales usados, la estructura del hilado, el tisaje, y el acabado. Estos factores afectan profundamente al diseño del tejido, ya que existen relaciones entre ellos.

Un parámetro necesario en el estudio de la geometría del tejido es el "diámetro" del hilo<sup>1)</sup>. Una de las suposiciones habituales para la geometría de los hilados de fibra cortada (staple yarn) es que la sección del hilado es circular.

Pierce, en su trabajo de investigación sobre la geometría del tejido (1937) supuso que la sección del hilo era circular, pero observó que los hilados se aplanan al formar parte del tejido, él derivó una ecuación para el cálculo teórico del diámetro del hilado convencional de anillo RS de algodón de título del hilado Ne (expresado en número inglés de algodón)<sup>2)</sup>.

$$d(\text{in}) = \frac{1}{28\sqrt{Ne}} \text{ o } d(\text{mm}) = \frac{0.907}{\sqrt{Ne}} \quad (1)$$

A. Basu y otros concluyeron que la SITRA<sup>3)</sup> modificó una ecuación (ecuación 2) para el cálculo teórico del diámetro del hilado OE rotor, la correlación entre el real y el teórico era muy alta ( $R^2 = 0.943$ ), y con menos desviación (alrededor 4.5%), como comparación con la ecuación convencional dada por Peirce (subestimación del 16%)

$$d(\text{mm}) = \frac{1.08}{\sqrt{Ne}} \quad \dots\dots\dots(2)$$

Kemp 1958<sup>1)</sup> ofrece una nueva forma, la sección del "racetrack", que es rectangular con los extremos semicirculares.

Actualmente, la sección del hilado tiende a concentrar la estructura de forma poligonal embalada irregular debido a la tensión, a la torsión y al título del hilado<sup>4, 5)</sup>. Con los avances recientes en el proceso de representación podemos describir la estructura del hilado con mayor precisión. Fue demostrado que la sección del hilado (RS) y los hilados del rotor (OE) se pueden aproximar a la forma elíptica, aun cuando actualmente puede tener un perímetro irregular<sup>6)</sup>. El perímetro real de la sección del hilado es irregular pero la sección aparente del contorno del hilado es elíptica<sup>7)</sup>.

El cálculo teórico de la sección del hilado partiendo de la sección cónica en gráficos por ordenador requiere la ayuda del presente trabajo de investigación. Una de las dificultades en encontrar la elipse más ajustada es que hay pocos métodos directos para estimarla a partir de los datos obtenidos empíricamente<sup>8, 9)</sup>.

La excentricidad "e" (ecuación 3)<sup>10)</sup> que es esencialmente el cociente del eje menor "d" al eje mayor "D", es 0 si el cónico es un círculo, y 1 si el cónico es parábola y entre 0 y 1 si el cónico es una elipse.

$$e = \sqrt{1 - \frac{d^2}{D^2}} \quad \dots\dots\dots(3)$$

$0 < e < 1$

Jasper y otros, 2005.<sup>9)</sup> estudiaron el sistema proyectado del diámetro para medir la excentricidad del hilado seccionado y obtuvieron que el hilado típico tiene un perfil elíptico con excentricidad que varía a lo largo de su longitud, esto para varios hilados (RS, 17Ne) fueron examinados usando una "cámara fotográfica lineal". El valor de la excentricidad para la mayoría de los hilados oscila entre 0,4 y 0,65 con la distribución normal, media igual 0,5 y la desviación de estándar 0,12, y para un hilado de 10,5 tex con 2 cabos fue medido con dos sistemas de la proyección de imagen; usando una cámara fotográfica área "scan", encontraron que el valor medio de la excentricidad esta alrededor de 0,55 con la desviación de estándar 1,121. Concluyeron que (como advertencia), el diámetro proyectado del hilado no crea simplemente una onda sinusoidal, pero si crea una función periódica compleja por lo tanto el cálculo por este método resulta difícil.

Por lo que el objetivo principal de este trabajo es:

- 1) Encontrar una solución simple para la determinación de la sección elíptica de los hilados. Mediante el diseño de una ecuación para el cálculo teórico de los diámetros aparentes (D, d) con uso del título del hilado (tex), directamente de los hilados convencionales RS del algodón.

- 2) Una nueva metodología para la determinación del perímetro de la sección del hilado.
- 3) Un nuevo sistema para encontrar las mejores elipses (el ajuste) de la sección del hilado.

## 2. EXPERIMENTAL

### 2.1. Materia prima

Se han estudiado tres muestras de hilados de algodón (RS) que fueron elaboradas con la siguiente gama de títulos: 14, 20, y 25 tex. Estas muestras fueron producidas industrialmente por Hilaturas Llaudet S.A. la hilatura se realizó en una continua de anillos de Marzoli a una velocidad de producción 16 m/min.

### 2.2. Equipos

#### 2.2.1. Nueva metodología para la medida de la sección del hilado

Un microscopio (1) tiene un rotador vertical graduado ( $^{\circ}$ ) con su abrazadera "Plato divisor" (2). Esta abrazadera hace de soporte del tubo con la muestra del hilado (3). El tubo de la muestra del hilo ha sido especialmente diseñado para sostener la muestra longitudinal del hilado (figura 1, 2) a través de una sección lateral en el elemento delantero del tubo. El microscopio va unido a la cámara fotográfica (4). La cámara fotográfica se ha conectado a un sistema de observación (6). En la pantalla podemos medir el diámetro del hilado cada 10 grados de rotación, para una una sección determinada en el monitor. El hilo (9) sale del cono del hilado (8) a una guía (10), pasando por la guía de la muestra del hilado (11) a una tensión favorable (12), luego pasa al tubo del soporte del hilado con sus guías y se bobina en un dispositivo para tomar del hilo (5). Los resultados se han obtenido mediante mediciones en el monitor de la imagen previo ajuste de la escala(6) y se han traducid en una sección del hilado mediante su composición en una hoja de cálculo (7).

La escala de reproducción en el monitor se ha calibrado con una aguja que tenía un diámetro conocido (0,5mm) puesta en el sostenedor del hilado y midiendo su diámetro con

papel milimetrado en el monitor; calculando la escala correspondiente.

En el montaje que se ha empleado, se ha ajustado la óptica empleada en la cámara para conseguir una escala exacta de aumento de 500:1.

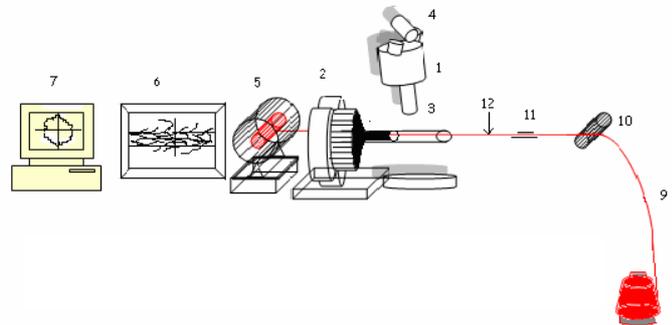


FIGURA 1: Esquema del sistema para medir la sección del hilo



FIGURA 2: Tubo sostenedor de los hilados

## 3. CÁLCULO TEÓRICO DE LOS DIÁMETROS DE LA SECCIÓN DEL HILADO ELÍPTICO (D, d)

### 3.1. Modelo de la sección del hilado elíptico



FIGURA 3a: Imagen lateral del hilado

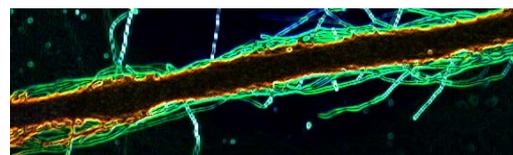
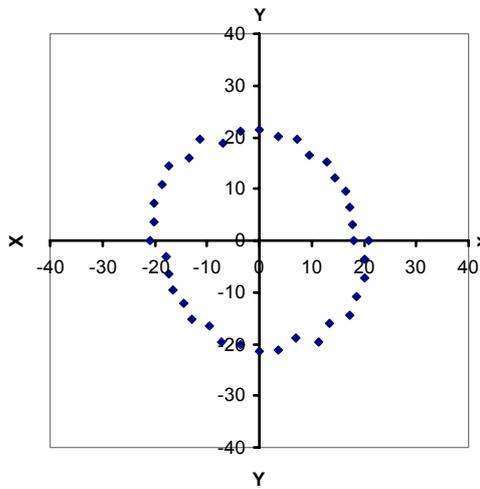


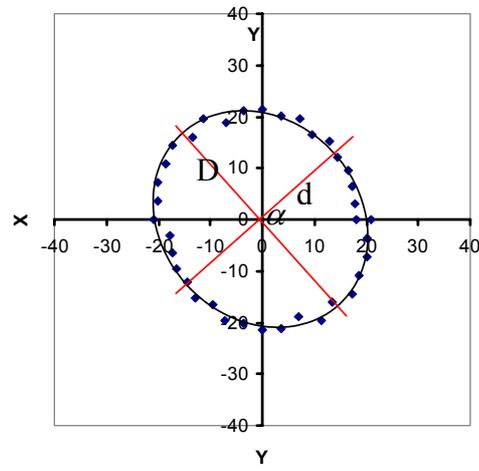
FIGURA 3b: Imagen del hilado después del procesamiento de imagen

En la figura 3a y 3b, se muestra la imagen del hilado obtenida con la cámara fotográfica y reflejada en la pantalla del sistema de observación; en esta imagen se puede observar

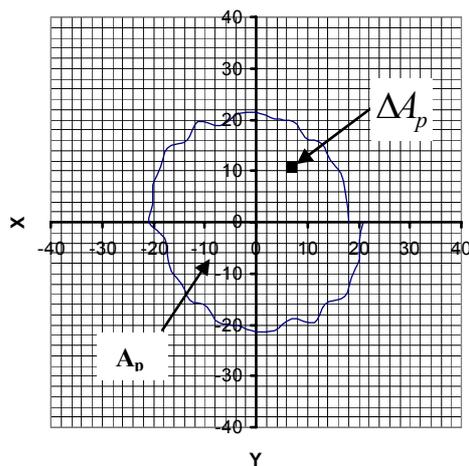
el diámetro aparente del hilado para 180° de giro longitudinal del mismo, de forma que se puede construir la elipse aparente realizando mediciones 18 mediciones separadas 10°:



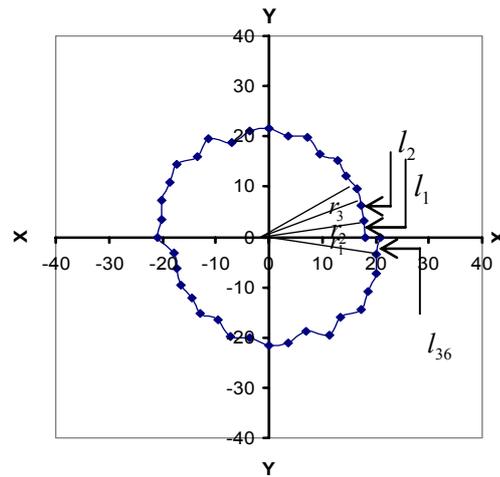
**FIGURA 4:** Puntos de la elipse aparente trazados según los datos medidos



**FIGURA 5:** Elipse de aproximación al contorno medido



**FIGURA 6:** Área de la sección del hilado obtenida experimentalmente.



**FIGURA 7:** Perímetro mediante segmentos discretos a partir de la sección del hilado obtenida experimentalmente.

En la figura 4 se dibujan los puntos obtenidos del sistema de observación 6 (figura 1) según los datos reales medidos en fotografía (figura 3), donde los valores de los diferentes diámetros del hilado reflejado en el eje de las x, han sido medidos cada 10 grados alrededor de un punto de referencia del hilado. Después ha sido sobrepuesta una elipse óptima para confirmar lo anteriormente supuesto (figura 5.). A partir de la elipse óptima podemos calcular el área real  $A_r$  de la elipse de la ecuación (4).

El área  $A_p$  del perfil de la sección del hilado podemos calcularla a partir de la ecuación (5) según se muestra en la figura (6).

$$A_r = \frac{\pi D_r d_r}{4} \dots \dots \dots (4)$$

donde:

$$\Delta_p = \Delta_x \cdot \Delta_y$$

Es posible estimar el perímetro real del perfil  $U_p$  de la ecuación 6 según la figura 7, realizando mediciones de los segmentos rectilíneos entre los puntos del perímetro obtenidos experimentalmente.

$$U_p = \sum_1^{36} l_{(1,2,3-----n)} \dots\dots\dots(6)$$

donde

$(l_1, l_2 \dots l_n)$  Son las conexiones entre los puntos,

$$l = \sqrt{r_1^2 + r_2^2 - 2r_1r_2 \cos \theta}$$

$(r_1, r_2, \dots r_n)$  Son los radios, y

$(\theta_1, \theta_2 \dots \theta_n)$  Son los ángulos entre

$(r_1-r_2, r_2-r_3, \dots r_{n-1}-r_n)$

### 3.2. Cálculo teórico de los diámetros D, d.

#### Supuestos:

- 1) Que el hilado tiene un título N en tex , y
- 2) El volumen específico del hilado convencional de anillo de algodón es 1.1 según Peirce<sup>2)</sup>

Entonces 1.1cm<sup>3</sup> del hilado pesa 1 gr.

Donde, 1 gr. de hilado de N (tex) tiene longitud 1/N km ó 10<sup>5</sup>/N centímetros ó 10<sup>6</sup>/N milímetro.

Por lo tanto: 1.1 cm<sup>3</sup> de hilado tienen una longitud de 10<sup>5</sup>/N centímetro.

Por otro lado :  $N(tex) = \frac{1000 \times m(gr)}{L(mt)}$ ,

Si la masa es igual a 1gr,

Entonces:  $L(cm) = \frac{10^5}{N(tex)}$

Puesto que:

El volumen es igual al área de la sección x la longitud

Si la sección es elíptica y tiene 2 diámetros

D, d

Entonces:

$$Dd(cm^2) = \frac{4 \times 1.155 \times N}{\pi \times 10^5}$$

$$Dd(mm^2) = 1.974 \times 10^{-3} \times N(tex) \quad .(8)$$

De la ecuación 3

$$e^2 = 1 - \frac{d^2}{D^2}$$

$$d = D\sqrt{1-e^2} \dots\dots\dots(9)$$

Si sustituimos la ecuación 9 en la ecuación 8, obtenemos:

$$D = \frac{\sqrt{1.974 \times 10^{-3} \times N(tex)}}{1-e^2}$$

$$D(mm) = 0.04424(1-e^2)^{-0.25} \sqrt{N(tex)} \dots\dots\dots(10)$$

De la ecuación, de 9 y 10

$$d(mm) = 0.04424(1-e^2)^{0.25} \sqrt{N(tex)} \dots\dots\dots(11)$$

Si la excentricidad del hilado e =0,5 según los resultados de Jasper<sup>9)</sup> y de nuestros resultados prácticos como promedio.

$$D = 0.04424(0.75)^{-0.25} \sqrt{N(tex)}$$

Redondeando el factor constante anterior obtenemos:

$$D(mm) = 0.048 \sqrt{N(tex)} \dots\dots(12)$$

$$d(mm) = 0.04424(0.75)^{-0.25} \sqrt{N(tex)}$$

Redondeando el factor constante anterior obtenemos:

$$d(mm) = 0.042 \sqrt{N(tex)} \dots\dots\dots(13)$$

$$A_{es} = \frac{\pi D_{es} d_{es}}{4}$$

$$A_{es} = 158 \times 10^{-5} \times N(tex) \dots\dots\dots(14)$$

### 3.3. Nuevo sistema para ajustar la sección elíptica del hilado

Los puntos trazados no se sitúan en la línea del perímetro de la elipse pero se dispersan frecuentemente, sin embargo, a pesar de la dispersión, tienen una tendencia que puede ser observada al formar la elipse.

Paso uno: Dibujar el perfil de la sección del hilo según los que datos obtenidos del monitor del sistema de observación.

Paso dos: Dibujar la supuesta elipse aproximada, conveniente ó adecuada según la tendencia de los puntos.

Paso tres: Para ajustar los puntos del perfil con el perímetro de la elipse se debe consultar la ecuación de las elipses para cada punto y estimar el promedio:

$$\frac{x^2}{D^2} + \frac{y^2}{d^2} = 1 \dots\dots\dots (15)$$

donde:  
 x = el valor del punto en el eje X de la elipse,  
 y = el valor del punto en el eje Y de la elipse

Estos valores pueden cambiar con el cambio del ángulo ( $\alpha$ ) entre el eje de las elipses y el eje del perfil.

D = el radio mayor de la elipse  
 d = el radio menor de la elipse

Si el resultado es igual a uno, esto significa que en este punto se cumple la ecuación y el trazado o dibujo de la línea (perímetro) de la elipse,

Si el promedio de los resultados de estos puntos es aproximado o igual a uno, esto significa

que la elipse es óptima, en este caso se debe de parar del cálculo.

Si el promedio de los resultados de estos puntos no es aproximado o igual a uno, en este caso se debe hacer cambio de los valores (D), (d) y el ángulo ( $\alpha$ ) poco a poco, (haciendo la iteración), hasta obtener el mejor ajuste.

Paso cuatro: Obtener el coeficiente de correlación entre el área real de la elipse ( $A_r$ ) y el área calculada teóricamente de la elipse ( $A_{es}$ ) según los diámetros teóricos ( $D_{es}$ ) y ( $d_{es}$ ) de las ecuaciones 12 y 13, y correlación entre el área del perfil ( $A_p$ ) y ( $A_r$ ).

Paso cinco: Se obtiene el coeficiente de correlación entre el perímetro del perfil ( $U_p$ ) y el perímetro de las elipses ( $U_e$ ).

Paso seis: Informe de cuál es el nivel de ajuste de las elipses.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Excentricidad y ajuste

**TABLA 1**  
 Resultados del hilado 14 tex

Parámetro	Promedio	max	min	CV %	SE
Excentricidad (e)	0,545698	0,612207	0,371154	14,07184	0,0256
Ajuste (f)	0,986326	1,113641	0,869796	9,01008	0,0296
Diámetro menor real ( $d_r$ , mm)	0,149529	0,169565	0,139130	6,01200	0,0030
Diámetro menor estimado ( $d_{es}$ )	0,149666				
diámetro mayor real ( $D_r$ , mm)	0,180054	0,187500	0,173913	3,03013	0,0018
Diámetro mayor estimado ( $D_{es}$ )	0,187083				
Área real de la elipse ( $A_r$ )	0,021405	0,024319	0,019004	7,77100	0,0006
Área real del perfil ( $A_p$ )	0,021574	0,027334	0,017628	13,05794	0,0009
Área calculada teóricamente ( $A_{es}$ )	0,023679				
Perímetro real de la elipse ( $U_r$ )	0,520595	0,553193	0,491728	3,74890	0,0065
Perímetro estimado ( $U_{es}$ )	0,546905				
Perímetro real del perfil ( $U_p$ )	0,581655	0,687441	0,488950	10,26885	0,0199

**TABLA 2**  
 Resultados del hilado 20 tex

Parámetro	Promedio	max	min	CV %	SE
Excentricidad (e)	0,57459	0,716415	0,470588	13,52346	0,0259
Ajuste (f)	0,977227	1,177285	0,795641	11,91841	0,0388
Diámetro menor real ( $d_r$ , mm)	0,1825	0,206522	0,159783	7,386064	0,0045
Diámetro menor estimado ( $d_{es}$ )	0,192302				
diámetro mayor real ( $D_r$ , mm)	0,225797	0,263043	0,194022	10,00828	0,0075
Diámetro mayor estimado ( $D_{es}$ )	0,223607				
Área real de la elipse ( $A_r$ )	0,032506	0,040757	0,024348	15,74634	0,0017
Área real del perfil ( $A_p$ )	0,033386	0,043351	0,025027	20,00427	0,0022
Área calculada teóricamente ( $A_{es}$ )	0,033828				
Perímetro real de la elipse ( $U_r$ )	0,641268	0,723079	0,555755	8,122079	0,0174
Perímetro estimado ( $U_{es}$ )	0,653676				
Perímetro real del perfil ( $U_p$ )	0,674935	0,905679	0,551997	15,34797	0,0345

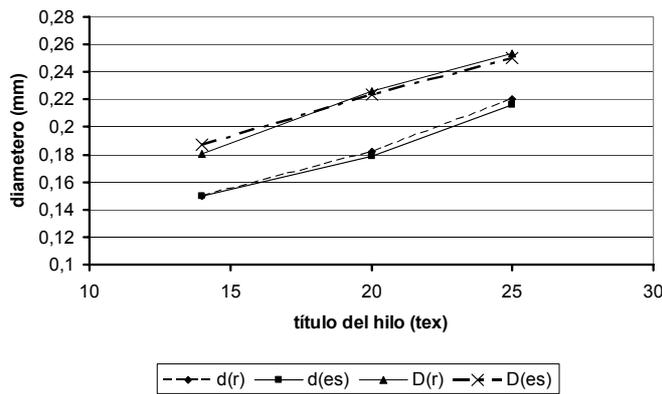
**TABLA 3**  
 Resultados del hilado 25 Tex

Parámetro	Promedio	max	min	CV %	SE
Excentricidad (e)	0,4730	0,57496	0,355755	17,1732	0,0271
Ajuste (f)	1,0562	1,253514	0,905969	10,2623	0,0361
Diámetro menor real ( $d_r$ , mm)	0,2220	0,24052	0,20496	5,8096	0,0043
Diámetro menor estimado ( $d_{es}$ )	0,2159				
diámetro mayor real ( $D_r$ , mm)	0,2536	0,26716	0,234729	3,3927	0,0029
Diámetro mayor estimado ( $D_{es}$ )	0,2500				
Área real de la elipse ( $A_r$ )	0,0442	0,049119	0,039103	8,0746	0,0012
Área real del perfil ( $A_p$ )	0,0457	0,051574	0,038563	8,5904	0,0013
Área calculada teóricamente ( $A_{es}$ )	0,0423				
Perímetro real de la elipse ( $U_r$ )	0,7468	0,786249	0,701883	3,9651	0,0099
Perímetro estimado ( $U_{es}$ )	0,7308				
Perímetro real del perfil ( $U_p$ )	0,8184	0,973223	0,724685	8,5771	0,0234

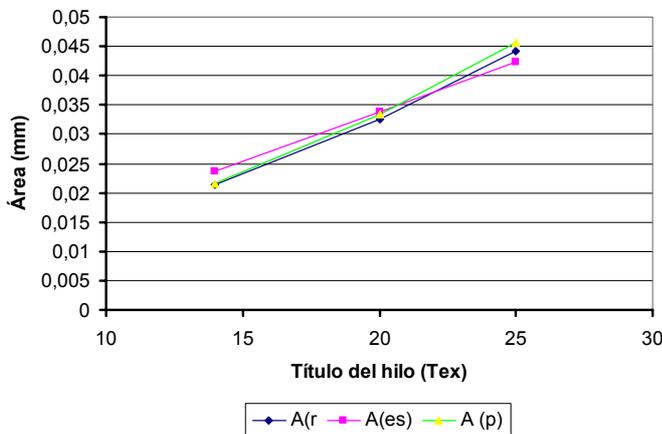
En las tablas 1, 2 y 3 se resumen los resultados que han sido obtenidos experimentalmente; se compararon con los resultados teóricos calculados según el modelo matemático. En la mayoría de los casos nos encontramos con que la variación entre los resultados teóricos, según el modelo y los resultados reales es mínima y el error estándar (SE) es muy pequeño. La excentricidad de la sección del hilado de 14 tex resultó ser de 0,54 como promedio, 0,61 como máximo y 0,37 como mínimo con un coeficiente de variación del 14%. Mientras que con el hilado de 20 tex tenía un promedio de 0,57, con un máximo de 0,7, un

mínimo de 0,47 y donde el coeficiente de variación era del 13%. Para el caso del hilado de 25 tex el valor promedio fue de 0,47 con un máximo y mínimo de 0,57 y 0,35 respectivamente, con un coeficiente de variación del 17%, también se observa que el grado del ajuste (f) entre los puntos trazados de las secciones de los hilados y las elipses, obtenidos era muy elevados donde eran 0,986, 0,977, y 1,05 como promedios para los hilados de 14, 20, y 25 tex respectivamente.

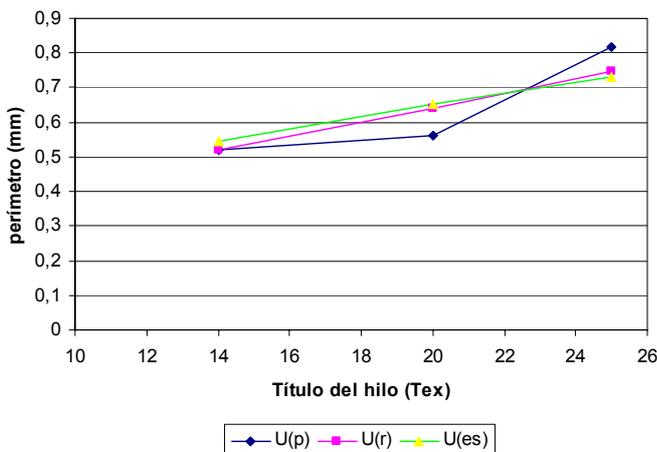
## 4.2. Simulaciones



**FIGURA 8:** Simulación de los resultados teóricos (d,D) con los resultados experimentales



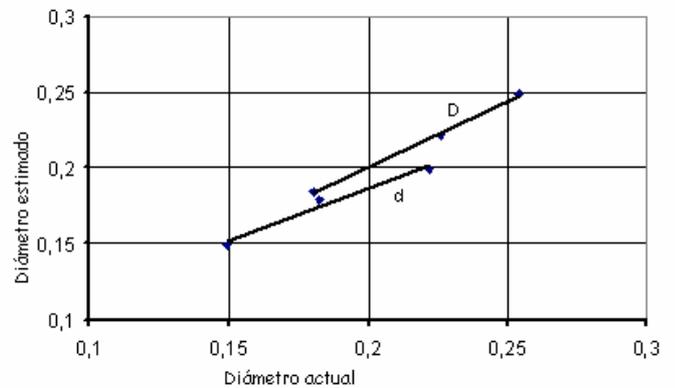
**FIGURA 9:** Simulación de las áreas (Aes), (Ar), y (Ap), área de al sección del hilo en función del título



**FIGURA 10:** Simulación de los perímetros (Ues), (Ur), (Up). El perímetro de la sección del hilo en función con el título

En las figuras 8, 9, y 10 se aprecia que los resultados teóricos son muy similares a los reales. Ambos resultados obtenidos siguen una tendencia lógica, donde el aumento del título del hilado (tex) incrementa el diámetro del hilado ( $D_r$ ,  $d_r$ ,  $D_{es}$  y  $d_{es}$ ), el área ( $A_r$ ,  $A_{es}$  y  $A_p$ ) y el perímetro ( $U_r$ ,  $U_{es}$  and  $U_p$ ). Según los resultados, como se ha indicado la en figura 8, se puede apreciar que el modelo matemático para el cálculo teórico (3-2) del diámetro de la sección elíptica de un hilado es muy adecuado para calcular los diámetros  $D_{es}$ ,  $d_{es}$  y muy aceptable para evaluar el área  $A_{es}$  y el perímetro  $U_{es}$  del hilado (figura 9.10).

## 4.3. Correlación



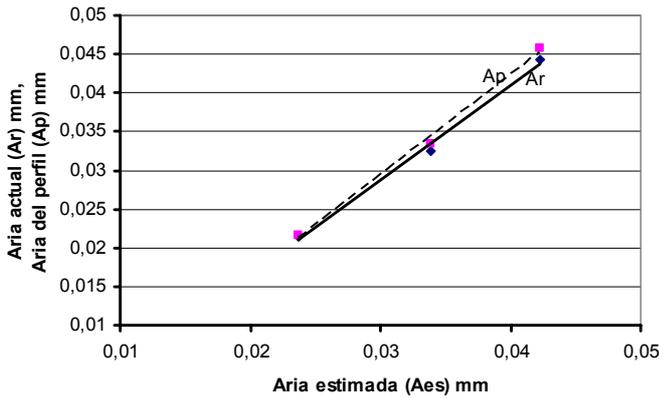
**FIGURA 11:** Correlación entre los diámetros reales y estimados

La correlación entre los diámetros reales ( $D_r$ ,  $d_r$ ) y los diámetros calculados teóricamente ( $D_{es}$ ,  $d_{es}$ ) está indicado en la figura 11. Donde encontramos que la correlación entre el diámetro menor calculado teóricamente y el diámetro menor real era muy alta debido a que  $R^2$  era 0,979. A la relación entre ellos se refiere la ecuación siguiente:

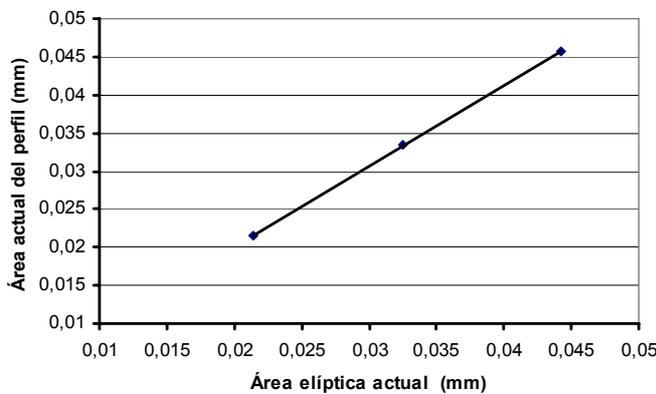
$$d_{es} = 0.6888 d_r + 0.049 \dots\dots\dots(16)$$

De la misma figura podemos obtener que la correlación entre el diámetro mayor calculado teóricamente ( $D_{es}$ ) y el diámetro mayor real ( $D_r$ ) es muy alta, ya que el valor de  $R^2$  es 0,998. De la relación entre ellos se obtiene la siguiente ecuación;

$$D_{es} = 0.8496 D_r + 0.335 \dots\dots\dots(17)$$



**FIGURA 12:** Correlación entre (1) área calculada teóricamente y el área real (2).



**FIGURA 13:** Correlación entre el área elíptica real y el área del perfil

La correlación entre el área calculada teóricamente y el área elíptica, como se indica en la figura 12, es muy alta, donde  $R^2$  era 0,995 y la relación entre ellas muy lógica ya que con el aumento del área calculada teóricamente aumenta el área elíptica real, de donde se desprende la ecuación 18 de la regresión lineal. En la misma figura se ha indicado la correlación entre el área calculada teóricamente ( $A_{es}$ ) y el área del perfil ( $A_p$ ), de esta figura y encontramos que la correlación era muy alta debido al coeficiente de la correlación  $R$ , era 0,996 y tiene una regresión lineal según la ecuación 19.

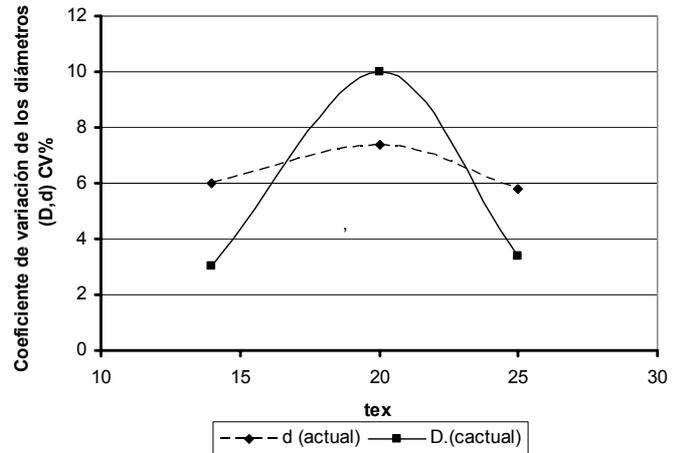
$$A_r = 1.225 A_{es} - 0.008 \dots\dots\dots (18)$$

$$A_p = 1.2923 A_{es} - 0.0094 \dots\dots\dots (19)$$

En la figura 13 se aprecia que la correlación entre el área elíptica  $A_p$  real ( $A_r$ ) y el área del perfil ( $A_p$ ) era muy alta debido al coeficiente de la correlación  $R$  igual a uno que pertenece la ecuación 20.

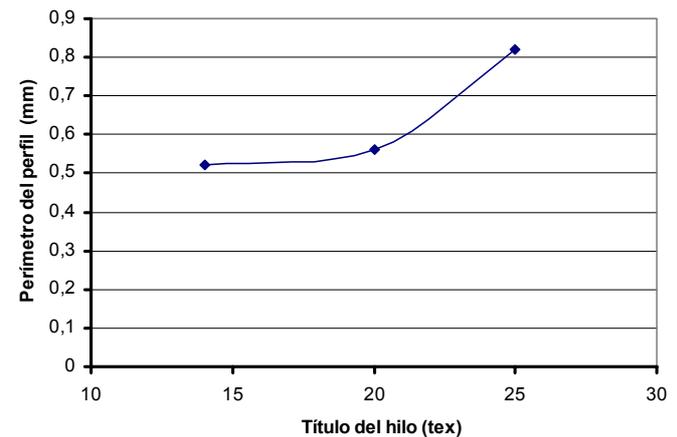
$$A_p = 1.0569 A_r - 0.001 \dots\dots\dots (20)$$

#### 4.4. Relaciones



**FIGURA 14:** Coeficiente de variación de los diámetros  $d, D$  en función con el título del hilado.

La relación entre el título del hilado en tex y el coeficiente de variación de los diámetros del hilado elíptico como se ha graficado en la figura 14, encontramos que, los diámetros ( $D, d$ ) de los hilados finos (14 tex) y de los hilados gruesos (25 tex) es más regular que en los hilados intermedios (20 tex). También podemos observar la variación entre los valores de los diámetros menores ( $d$ ) tex es menor que en los diámetros mayores ( $D$ ). El coeficiente de variación entre los diámetros mayores ( $D$ ) y los menores ( $d$ ) crece con el aumento del título del hilado hasta llegar a un punto crítico a partir del cual disminuye.



**FIGURA 15:** Perímetro del perfil del sección del hilo en función del título del hilo.

La relación entre el título del hilado en tex y el perímetro del perfil en milímetro está indicada en la figura 15. Se observa un comportamiento lógico entre ellos, donde con el aumento del título del hilado, aumenta el perímetro de la sección del hilado; esta relación no es lineal debido a la

variación en las longitudes de los acoplamientos (véase la figura 7).

## 5. CONCLUSIONES

5.1. La excentricidad de la sección elíptica de los hilados de algodón está entre 3,5 y 7,2.

5.2. La forma de la sección del hilado es elíptica con una cierta deformación e irregularidad en el perímetro.

5.3. El nuevo sistema para medir el perfil de la sección del hilado es adecuado y preciso. Tiene una ventaja muy importante sobre el método tradicional ya que no se aplica ninguna presión sobre la muestra.

5.4. El modelo matemático para el cálculo teórico de la sección elíptica del hilado es apropiado y de fácil aplicación, resultando que el diámetro menor viene dado por  $d = 0.042\sqrt{Tex}$  y el diámetro mayor viene dado por  $D = 0.048\sqrt{Tex}$

5.5. La correlación entre los diámetros teóricos  $D_{es}$ ,  $d_{es}$  y los diámetros reales  $D_r$ ,  $d_r$  es muy alta, ya que han resultado valores de 0,998 y 0,979 respectivamente.

5.6. La relación entre el diámetro teórico y el diámetro real, en función del título del hilado son muy similares.

5.7. A través del nuevo sistema de ajuste se ha obtenido la elipse más exacta, donde los valores del ajuste han sido 0,99, 0,98, y 1 para 14, 20 y 25 tex respectivamente.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

1. Booth J.E., Principals of Textile Testing, Newnes – Butterworths, London, Boston, P 227 (1976)
2. Peirce F.T., The geometry of Cloth Structure, J. Textile Institute, 28, T45 (1937)
3. Basu A., Doraiswamy I., and Gotipamol R.L., measurement of yarn Diameter and Twist by Image analyses, J. Textile Institute, 94 Part 1, Nos 1/2 P 37-48 (2003)
4. Hearle J. Grosberg P., and Backer S., Structural Mechanics of Fibres, Yarns and Fabrics., Wiley – Interscience. New York, Ny, (1969)
5. Barella, A., The influence of twist on the regularity of the apparent diameter of worsted yarn, J. Textile Institute 43, P734-P741 (1952)
6. Cybulska, M. Assessing yarn structure with image analyses methods, textile research journal 69 (5), P369 – P373 (1999)
7. Kasem M. H., Saad M. A. and Riva A., Estudio de la relacion entre la geometria de los hilos y la rugosidad de los tejidos, Boletín Intexter (UPC) N° 127 P5 – P1 (2005)
8. Frrzgibbon, A., Pilu, M. and Fisher, R., Direct least squares fitting of ellippses., PAMI 21(5), 476 – 480
9. Jasper, W. J., Gunay, M., and Suh, M. W., Measurement of eccentricity and twist in spun and plied yarns., JOTI 2005 Vol. 96 No. 2 P93 – P97 (2005)
10. Kurt Gieck, Heilbronn/N, Engineering formulas, Mc Graw-Hill Book Company, New York, Library of congress catalog card number 79-19687, F4, f36.