

PROPIEDADES MECANICAS DE LOS HILOS DE ALGODON EN FUNCION DE LAS CARACTERISTICAS DE LAS FIBRAS ⁽¹⁾

por D. D. MEULEMEESTER
Profesor jubilado de la Universidad de Gante (Bélgica)

4.ª PARTE

Segunda fase de las investigaciones efectuadas en Gante

La primera fase de las investigaciones efectuadas sobre 305 algodones congolese ha proseguido en el curso de estos últimos años y continua aún actualmente con el único objeto de limitar los errores de medida a valores notablemente inferiores a las variaciones totales de las características a medir.

Estos estudios, aplicados a algodones de diversas procedencias, han permitido ligar estadísticamente, con un error de estimación razonable, ciertas características de la fibra a las diversas propiedades de los hilos que se citan a continuación.

1. RESISTENCIA DE LOS HILOS.

1.1 *Algodones comerciales congolese.*

La estimación de la resistencia de los hilos, comenzada sobre los 305 algodones de la primera fase, que no tenían carácter comercial, se ha proseguido durante años sucesivos sobre algodones comerciales congolese, sobre algodones de selección congolese y sobre algodones industriales, entre los que figuran una serie representativa de algodones de consumo Belga.

En la tabla de la figura 14, se encuentran en 1 y 2, las ecuaciones de regresión que expresan, para los 305 algodones del estudio fundamental y para los 300 algodones comerciales congolese, la estimación de la longitud de rotura sobre madejitas, en función del título y de 3 características principales, tales como la U. H. M. L., el índice micronaire (leído sobre la escala lineal) y la resistencia Pressley en kilómetros.

En 3, la ecuación de regresión que expresa, para los 300 algodones comerciales congolese, la estimación de la longitud de rotura sobre madejitas en función del título y de 5 características principales: la U. H. M. L. en pulgadas, la finura gravimétrica en militex deducida del arealómetro, la resistencia Pressley en kilómetros, la uniformity ratio en %

RESISTANCE SUR ECHEVETTES							
EQUATIONS DE REGRESSION							
305 COTONS ETUDE FONDAMENTALE							
a	UHM	M	Pr	Na	ERR%	R	
$Y'e = -0,52 + 8,04 - 0,32 + 0,16 - 0,08$					6,15	0,83	
300 COTONS COMMERCIAUX CONGOLAIS							
3 CARACTERISTIQUES							
$Y'e = -2,00 + 8,46 - 0,32 - 0,19 - 0,08$					4,97	0,87	
300 COTONS COMMERCIAUX CONGOLAIS							
5 CARACTERISTIQUES							
a	UHM	UR	FG	Pr	Ma	Na	ERR% R
$Y'e = -131 + 8,25 + 0,10 - 0,007 + 0,21 + 1,12 - 0,08$					4,18	0,90	

Fig. 14

y el índice de madurez obtenido del arealómetro. Es preciso hacer notar que estas ecuaciones no tienen validez más que para los algodones congoleños y no dan en consecuencia, la misma precisión para algodones de otro origen. Por eso se ha efectuado un estudio especial en el laboratorio de Gante (6) consagrado a estudiar una serie de algodones representativos del consumo belga.

1.2. ALGODONES COMERCIALES BELGAS.

A tal efecto se ha procedido a efectuar una cincuentena de tomas de algodón en rama en diferentes hilaturas belgas.

1.2.1. Características de la fibra.

Se han estudiado las siguientes características de las fibras:

- Características de *longitud* por el fibrógrafo.
- Índice *micronaire* con escala curvilínea.
- *Resistencia de la fibra* en Pressley o en Stelometro con pinzas juntas

1.2.2. Transformación en hilo.

La transformación de la materia en rama en hilo se ha efectuado en maquinaria de laboratorio por el procedimiento de hilatura normalizado o por «spinning test» descrito en el estudio fundamental; a este respecto deben señalarse algunas particularidades.

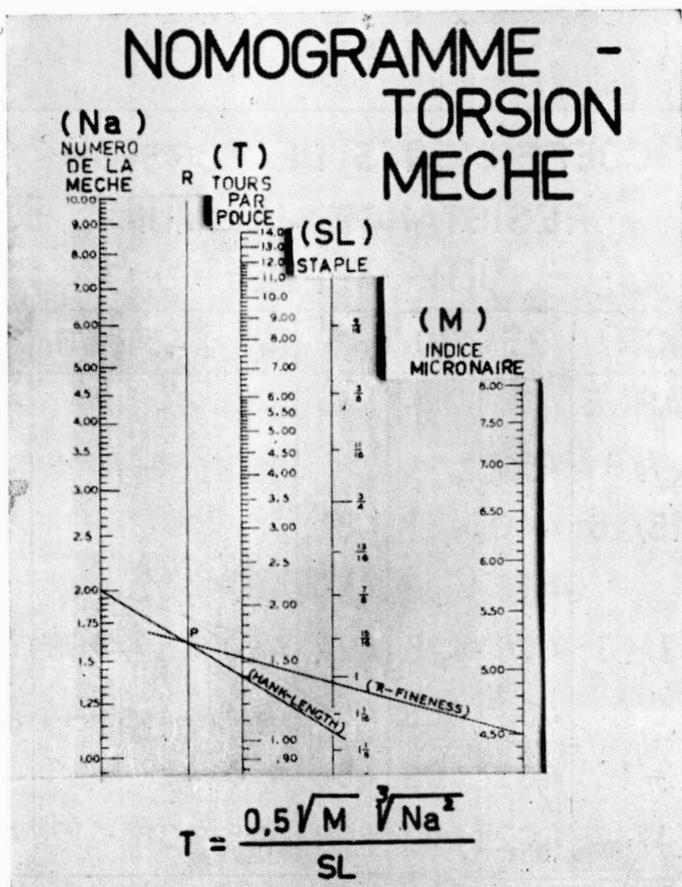


Fig. 15

a) Alimentación de la carda.

Como la cantidad de materia a trabajar por cada variedad de algodón es reducida (300 g. por número de hilo), no fué posible hacer pasar el algodón por las abridoras y batanes. Estas operaciones se han reemplazado por una abertura y homogeneización manuales: la muestra después de bien abierta y mezclada se situó directamente sobre la tela alimentaria de la carda.

b) *Torsión en la mechera.*

La torsión en la mechera (7) es función del índice micronaire y de la longitud U. H. M. L. del algodón en pulgadas, según la fórmula:

$$0,5 \text{ (ind. micron)} \frac{1}{2} \text{ (Na)} \frac{2}{3}$$

U. H. M. L.

COEFFICIENTS DE TORSION RESISTANCE MAXIMUM FIL A FIL							
MICR.	25	30	35	40	45	50	55
STAPLE							
7/8	4,67						
15/16	4,40	4,61	4,81				
1	4,16	4,33	4,50	4,67	4,82		
1 1/16	4,06	4,15	4,27	4,40	4,53	4,66	4,76
1 1/8	4,03	4,06	4,13	4,23	4,34	4,44	4,54
1 3/16	4,02	4,03	4,06	4,10	4,16	4,26	4,33
1 1/4	4,02	4,02	4,02	4,05	4,08	4,12	4,17

Fig. 16

c) *Torsión del hilo.*

Los hilos se han hilado a su torsión saturante, es decir, la que les confiere en máximo de resistencia; que depende de la longitud y de la finura de la fibra. El coeficiente de torsión utilizado está tomado de un gráfico aparecido en el *Textile World* en 1955 (8) que da el coeficiente de torsión saturante en función del «mean length» en el fibrografo y de la superficie específica obtenida por el arealómetro.

Como se trataba en este estudio de una investigación destinada a documentar a los industriales, el gráfico del Textile World se ha comprobado en el laboratorio para varios números de hilos, del 12 al 36 de numeración inglesa. Este control puso de manifiesto que el máximo de resistencia hilo a hilo no se alcanza más que para torsiones superiores en aproximadamente un 10 % de las suministradas por el gráfico. Esto se explica por el hecho de que el gráfico del Textile World se estableció para obtener el

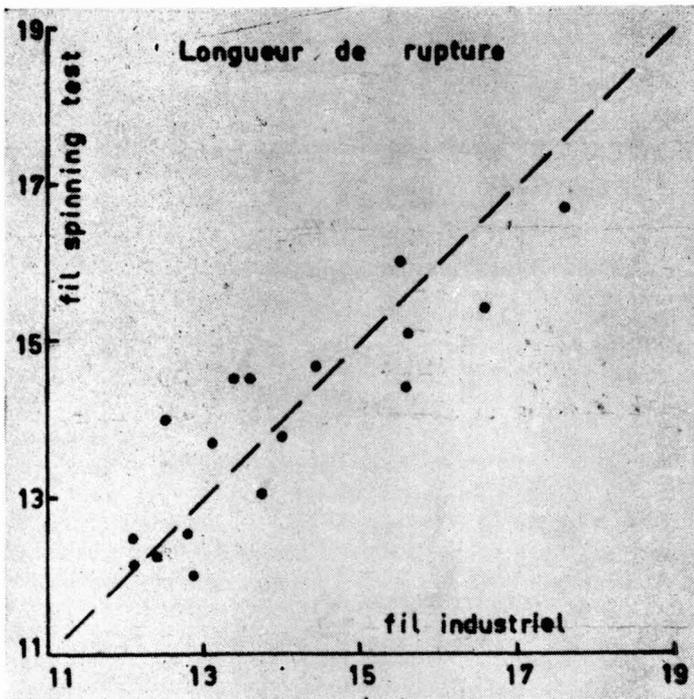


Fig. 17

máximo de resistencia sobre madejitas. Puesto que, como ya se sabe para obtener la máxima resistencia hilo a hilo la torsión debe ser ligeramente superior, la diferencia se cifra en aproximadamente un 10 %.

Finalmente, el gráfico del Textile World se transformó en una tabla de doble entrada en función de las características staple length (ligada a la U. H. M. L.) y el índice micronaire (ligado a la superficie específica a partir del arealómetro), factores más empleados en la práctica industrial (ver cuadro en la figura 15).

1.2.3. *Comparación del spinning test con la hilatura industrial.*

Se efectuaron ensayos comparativos de resistencia hilo a hilo sobre hilos obtenidos a partir de un cierto número de algodones. A este respecto, los hilos industriales con «torsión urdimbre» se compararon, desde el punto de vista de resistencia hilo a hilo, con hilos hilados en spinning test con torsión saturante. La concordancia encontrada por término medio fué muy notable (figura 17). De ello se concluye que los resultados deducidos de los spinning test son aplicables en la industria.

1.2.4. *Resultados.*

Partiendo de los datos obtenidos en el curso del estudio pueden establecerse numerosas fórmulas teóricas. Sin embargo, nos limitaremos a dar una fórmula que permita al práctico predecir la resistencia de un hilo, con el método hilo a hilo, partiendo de un número limitado de características fácilmente mediables.

Esta ecuación de regresión se ha establecido en función de 3 variables (ver figura 18).

$$L_r = -3,8168 + 0,2016 (\text{Pressley en km.}) + 11,1117 \text{ UHML en pulgadas} - 0,1034 (\text{número inglés}).$$

La UHML en pulgadas determinada en el fibrografo: límites 0,88 a 1,28 pulgadas.

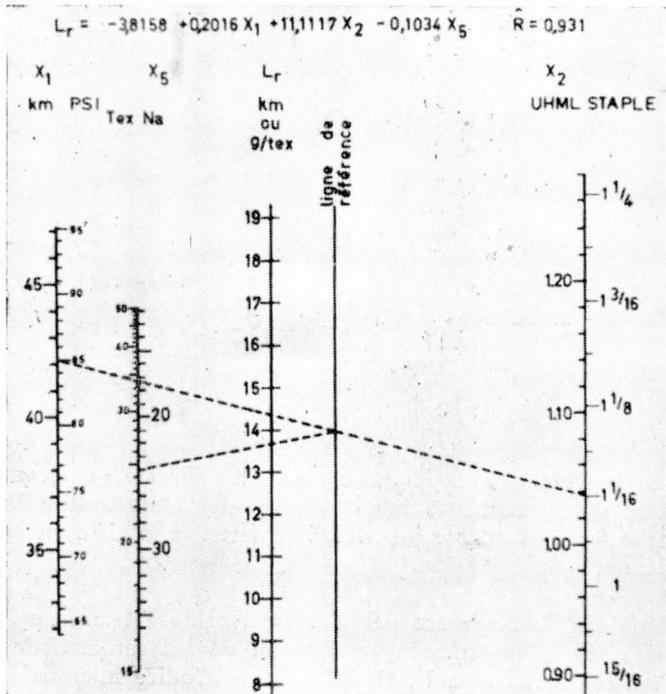


Fig. 18

La resistencia Pressley expresada en g/tex o en Km.: límites 32 a 47 Km.

El título del hilo en número inglés: límites 15 y 50.

El índice micronaire no se ha introducido en la ecuación de regresión por el siguiente motivo:

Los cálculos de correlación han demostrado que añadiendo a la ecuación un término que incluya el índice micronaire, la precisión de la estimación no aumenta sensiblemente; esto puede explicarse por el hecho de que el coeficiente de torsión del hilo ya tiene en cuenta la finura de la fibra. La ecuación de regresión propuesta presenta la ventaja de su simplicidad y dar lugar a un elevado coeficiente de correlación muy elevado: 0,931.

Ha sido puesta en forma de nomograma de empleo muy simple (figura 18). Debe entenderse que esta ecuación no debe aplicarse más que entre los límites para los que ha sido calculada, límites que figuran sobre la escala del nomograma y para hilos cuya torsión no difiera mucho en menos de la torsión saturante.

1.2.5. *Precisión de la estimación.*

Cuando se llevan en abscisas la longitud de rotura estimada mediante la ecuación de regresión, y en ordenadas, la longitud de rotura determinada por el ensayo de tracción, se comprueba que la casi totalidad de los puntos se sitúan entre más o menos 10 % del valor estimado (figura n.º 19).

Recordemos que Underwood no había encontrado más que aproximadamente 50 %.

1.2.6. *Utilidad práctica.*

Antes de que una hilatura que hila a torsión sensiblemente saturante pueda aplicar esta fórmula, es necesario que establezca su nivel con respecto a esta ecuación porque, aunque el ensayo de hilatura en laboratorio se sitúa al nivel medio de las hilaturas que han participado en el estudio, se han comprobado a veces diferencias apreciables y sistemáticas.

A tal efecto, se aplica la fórmula para un cierto número de hilos de producción corriente con torsión saturante de los cuales se determinan las longitudes de rotura L_r mediante ensayos de tracción.

La relación $\frac{L_r}{L'_r}$ da el índice de nivel. Si $L_r > L'_r$ la hilatura está a un nivel más elevado; por el contrario, si $L_r < L'_r$ la hilatura está a un nivel más bajo. Es preciso multiplicar por el coeficiente de corrección el valor ultimado. La ecuación corregida puede entonces seguir:

- 1.º — Como guía en la elección del algodón destinado a producir un hilo de resistencia impuesta.

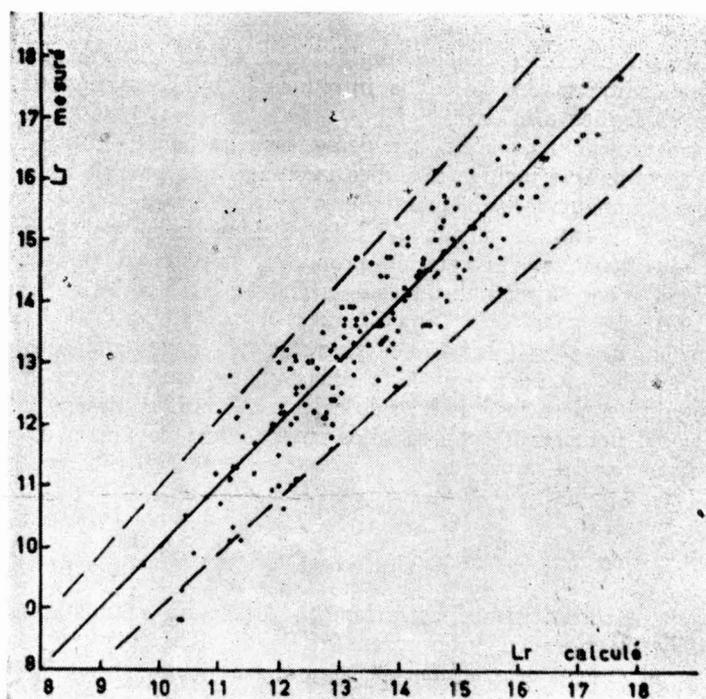


Fig. 19

2.º — Como medio de control de fabricación: la obtención de una longitud de rotura de 10 % por debajo del valor estimado debe considerarse como un signo de alarma; en este caso hay que controlar el proceso de hilatura o volver a determinar las características del algodón.

2. IRREGULARIDAD DE LA RESISTENCIA.

En la investigación fundamental, se habían elegido dos algodones determinados (algodones patrones sobre los que los ensayos de hilatura se habían repetido varias veces). Se había encontrado que la irregularidad de la resistencia tenía un coeficiente de variación del orden del 10 %. Esta variación parece que no pueda atribuirse a las propiedades de la fibra, si no que podía explicarse por una cierta inestabilidad del ensayo en hilatura con respecto a esta propiedad, por ejemplo, por imprecisión del reglaje de los ecartamientos, estado de conservación de los cilindros de presión, etc., para ponerlos de manifiesto, se ha procedido a efectuar cálculos de regresión múltiple sobre los 365 algodones del estudio fundamental.

Las irregularidades de los hilos.

Los números 18 (32 tex), 24 (25 tex) y 36 (16 tex) se han ligado separadamente a las cinco características del estudio fundamental. Como era previsible esperar, los coeficientes de correlación múltiples encontrados son bajos:

0,603 para el número 36 (16 tex);
0,490 para el número 24 (25 tex) y
0,426 para el número 18 (32 tex).

lo que hace aparecer la poca influencia de las características de las fibras en la irregularidad de los hilos.

Se comprueba sin embargo que la irregularidad de resistencia del hilo es tanto más grande cuanto más baja es la longitud media, cuanto más gruesa y menos resistente es la fibra.

1.º—La importancia de la longitud media se puede explicar por la consideración de las fibras flotantes. En efecto, los ecartamientos se establecen en función de la U. H. M. L. o de la longitud al cuarto superior. Es natural que para los algodones que tengan la misma longitud al cuarto superior el que tenga la longitud media más baja dará lugar a mayor número de fibras flotantes; éstas ocasionan «drafting waves» y deben, en consecuencias, aumentar la irregularidad del hilo.

2.º—La influencia de la finura se explica por el hecho de que para un título de hilo dado, el número de fibras disminuye cuando el título de la fibra aumenta. Se sabe que en este caso la irregularidad en sección aumenta. De ello resulta que, como se verá más adelante, la irregularidad del hilo debe aumentar.

3.º—La influencia de la resistencia se explica por el hecho de que los algodones de baja resistencia son, en general, los más irregulares en resistencia; la irregularidad de la resistencia de la fibra tiene su repercusión en la irregularidad del hilo.

3. ASPECTO DEL HILO.

Recordemos que es esta una apreciación del hilo, tanto desde el punto de vista del número de neps como de irregularidades, obtenida por comparación con los standars americanos de la A. S. T. M. el aspecto está caracterizado por cifras que van de 70 (insuficiente) a 130 (excelente). Dos ecuaciones de correlación se han establecido, una en función de las características obtenidas por los métodos clásicos, otra en función de las características obtenidas por los métodos rápidos. Como las dos ecuaciones conducen a idénticas conclusiones, sólo la segunda ecuación se ha reproducido en la figura.

Para los 305 algodones del estudio fundamental:
 $Y' = 36,4 + 60,15X_1 + 0,36X_2 + 0,764X_3 - 0,011X_4$
 error de estimación 9,25 $R = 0,509$

$X_1 =$ longitud media (fibrógrafo)

$X_2 =$ uniformity ratio (fibrógrafo)

$X_3 =$ índice micronaire

$X_4 =$ neps por m² en el velo de carda

El coeficiente de correlación es bajo, pero los coeficientes de correlación simple han permitido clasificar las características por orden de importancia y llegar a la conclusión teniendo en cuenta el signo:

- 1.º — La longitud media mejora el aspecto.
- 2.º — El número de neps disminuye el aspecto.
- 3.º — La uniformidad de las fibras mejora el aspecto.
- 4.º — La finura de las fibras (índice micronaire) mejora el aspecto

4. IRREGULARIDAD DE MASA DEL HILO.

El establecimiento de estas relaciones no ha podido ser abordado de manera precisa hasta muy tarde a causa de la falta de reproductividad del primer aparato regularímetro.

Los primeros ensayos ejecutados por el primer aparato USTER sobre dos algodones patrones con los que se habían hilado respectivamente 11 veces y 18 veces los hilos de número tex 32 (n 18) habían dado para la irregularidad de los hilos valores extremadamente dispersos, lo que supone para estas irregularidades un coeficiente de variación del orden del 15 %.

Con las mejoras introducidas en el aparato (mejor estabilidad, aumento de la velocidad de arrastre de hilo que pasó de 2 metros a 50 metros por minuto), el coeficiente de variación ha pasado a ser del 2 %. El error de medida del spinning test habiéndose hecho muy pequeño, ha sido posible volver a investigar la importancia de las propiedades de las fibras en la regularidad del hilo.

El examen de una centena de algodones comerciales con los que se han hilado 600 hilos, ha permitido establecer la siguiente ecuación de regresión:

Const. Long. media U.R. Ind. micr. Rest. Pressley Neps N.º hilo
 $y' = 38,2 \quad -17,9 \quad -0,11 \quad +0,68 \quad -0,06 \quad +0,0008 \quad +0,182$

IRREGULARITE EN SECTION						
EQUATIONS DE REGRESSION						
600 FILS						
CON-	LONG	UR	INDICE	RESIST	NEPS	NUMERO
STANTE	MOY		MICRON	PRESS		DE FIL
Y u =	382	-179	-011 + 0,68	- 0,06	+0,0008	+ 0,182
ERREUR D'ESTIMATION					1,18	
COEFF DE CORRELATION MULTIPLE					0,832	
COEFFICIENTS BÊTA						
	LONGUEUR MOYENNE				-0,452	
	INDICE MICRONAIRE				+0,177	
	UNIFORMITY RATIO				-0,141	
	NOMBRE DE NEPS				+0,065	
	RESISTANCE PRESSLEY				- 0,056	

Fig. 20

El coeficiente de correlación de 0,832 es relativamente elevado, muy superior al encontrado para la irregularidad de resistencia (0,603 para el número 36) y para el aspecto (0,509).

El cálculo de los coeficientes beta ha demostrado que los hilos son tanto más regulares cuando:

- la longitud media es más elevada — coeficiente beta = -0,452
- el índice micronaire es más bajo — coeficiente beta = +0,177
- la uniformidad en longitud es más grande » » = -0,141
- el número de neps en el velo de carda es
 más bajo » » = +0,065
- la resistencia de las fibras es más grande » » = -0,056

Es este un resultado del que será posible sacar partido, como se verá al final del estudio.

5. ALARGAMIENTO A LA ROTURA.

Algunas investigaciones profundas efectuadas sobre el comportamiento del hilo en su preparación para el tisaje y en el propio tisaje, han demostrado que el alargamiento del hilo es un factor más importantes que la resistencia.

**ALLONGEMENT DE RUPTURE
EQUATIONS DE REGRESSION**

915 FILS

CON- STANTE	UHML	UR	INDICE MICRON	RESIST PRESS	MATU RITE	NUMERO DE FIL
Y'a= 7,7	+0,621	+0,05	-0,56	-0,05	+0,010	-0,090
ERREUR D'ESTIMATION					0,67	
COEFF DE CORRELATION MULTIPLE					0,754	
COEFF DE CORRELATION PARTIELLE						
TITRE DU FIL					-0,709	
INDICE MICRONAIRE					-0,356	
RESISTANCE					-0,254	
UNIFORMITE					+0,176	
UPPER HALF MEAN					+0,040	
MATURITE					+0,018	

Fig. 21

Durante los ensayos de tracción hilo a hilo efectuados sobre los hilos que formaban parte de la investigación fundamental, el alargamiento a la rotura había sido anotado y se disponía en consecuencia de una colección de 915 valores.

Los coeficientes de correlación simple establecidos entre el alargamiento a la rotura de los 915 muestras han dado los resultados siguientes:

- 1.º — El título del hilo tiene una gran influencia; el coeficiente de correlación simple es de $-0,662$.
- 2.º — Las características más importantes son:
 - el índice micronaire
 - la finura gravimétrica
 - el porcentaje de fibras maduras
 - la resistencia de las fibras.

3.º — La característica longitud no tiene influencia significativa.

Se ha procedido entonces a efectuar un cálculo de correlación múltiple para ver si la introducción de otras características en una ecuación de regresión no proporcionaría un aumento notable en el coeficiente de correlación simple (0,662) del título.

Estos cálculos han dado con las características determinadas por los métodos rápidos, la ecuación de la figura 21:

$$\text{Const. UHML U. R. Micron Pressley Mad. N.º hilo R E. Est.} \\ Y' = 7,7 + 0,621 + 0,05 - 0,56 - 0,05 + 0,010 - 0,009 \quad 0,754 \quad 0,67$$

Los coeficientes de correlación parcial calculados han permitido fijar el orden de importancia de las características determinadas por métodos rápidos con respecto al alargamiento del hilo (ver figura 21); se ha encontrado como orden de importancia el siguiente:

el título del hilo (—0,709), el índice micronaire (—0,356), la resistencia (—0,254), la uniformidad (+ 0,176), UHML (+ 0,04), la madurez (+ 0,018).

Se ve que la UHML y la madurez no son significativas.

Se deduce entonces que, salvo para la madurez, que no tiene influencia significativa, la clasificación es análoga a la basada en cálculos de correlación simple. El hecho de que la madurez, que figura en la primera clasificación, no tenga significación en la clasificación basada en cálculos de correlación parcial, proviene de que la madurez está ligada a la finura gravimétrica.

5.º PARTE

6. INFLUENCIA DE LA IRREGULARIDAD DE SECCIÓN DE LOS HILOS EN SU RENDIMIENTO.

6.1. *Relación entre el rendimiento de los hilos y su coeficiente de variación en el interior de 125 m.*

El punto de partida de esta investigación lo constituye los resultados deducidos de unos 180 spinning test efectuados en el laboratorio de Gante (9) sobre una cincuentena de algodones cuyas características se habían determinado con el fin de efectuar estudios de correlación. Estos han demostrado que la irregularidad de sección de los hilos de algodón, es decir, el coeficiente de variación de masas de 8 mm., determinado por medio del regularímetro USTER, influye notablemente sobre su rendimiento, es decir, sobre el cociente de la longitud de rotura del hilo por la longitud de rotura de las fibras.

La resistencia se apreció mediante el Stelometro con pinzas juntas y con pinzas separadas de 1/8 pulgadas (aproximadamente 3 mm.); se efectuaron 10 ensayos, 2 de ellos sobre algodones patrones. Los resultados han sido traducidos a longitud de rotura designadas respectivamente por I_0 y por I_3 expresadas en Km.

Estos algodones se han transformado mediante spinning test en hilo con torsión saturante; se hilaron cuatro títulos por variedad: 16, 21, 33 y 49 tex (n.º 36, 28, 18 y 12).

La apreciación de la resistencia de los hilos se efectuó en un dinamómetro con Straingage (Statham); distancia entre pinzas: 50 cm.; duración del ensayo: 20 seg \pm 3 seg; n.º de ensayos: 100.

El título se apreció por el peso de los trozos cortados a ras de pinzas después de su rotura; con la ayuda de estos elementos, se calculó la L_r de cada uno de los hilos. Igualmente se calcularon los dos rendimientos:

$$\rho_0 = \frac{L_r}{I_0} \text{ y } \rho_3 = \frac{L_r}{I_3}$$

La irregularidad de estos hilos se determinó por medio del regularímetro USTER a la velocidad de 50 m. por minuto. La duración de integración fué de 2 minutos 30 segundos. Se obtiene así el coeficiente de variación de masas de 8 mm. en el interior de longitudes de 125 m. — 5 ensayos espaciados de 30 segundos, es decir, espaciados de 25 m., se ejecutaron por hilo. La dispersión fué muy baja — el aparato había sido previamente cuidadosamente controlado; a tal efecto, varias partes del hilo de una longitud de aproximadamente 0,60 m., se pasaron por el aparato y se construyó un gráfico. Estos hilos fueron cortados inmediatamente en trozos de 8 mm. y pesados en una balanza de precisión. Esto permitió construir un gráfico de la masa de los trozos de 8 mm. Se comprobó que mediante una elección juiciosa de escala, era posible hacer coincidir los dos gráficos.

Una vez seguros de la exactitud de los aparatos, se procede a los ensayos. Se establecieron las ecuaciones de correlación entre los rendimientos ρ_0 y ρ_3 y los coeficientes de variación v_{125} de los 180 algodones que habían sido objeto de spinning test. Los cálculos condujeron a las ecuaciones:

$$\rho'_0 = 64,6 - 1,46 \bar{v}_{125}; \quad s = 2,1; R = 0,877; t = 20 \quad (1)$$

$$\rho'_3 = 144 - 2,24 \bar{v}_{125}; \quad s = 4,4; R = 0,800; t = 14,5 \quad (2)$$

6.2. *Relación entre el rendimiento y el coeficiente de variación en el interior de 0,50 m.*

Se examinó a continuación si el coeficiente de variación de las masas de 8 mm. de hilo en el interior de 125 m. estaba ligado al coeficiente

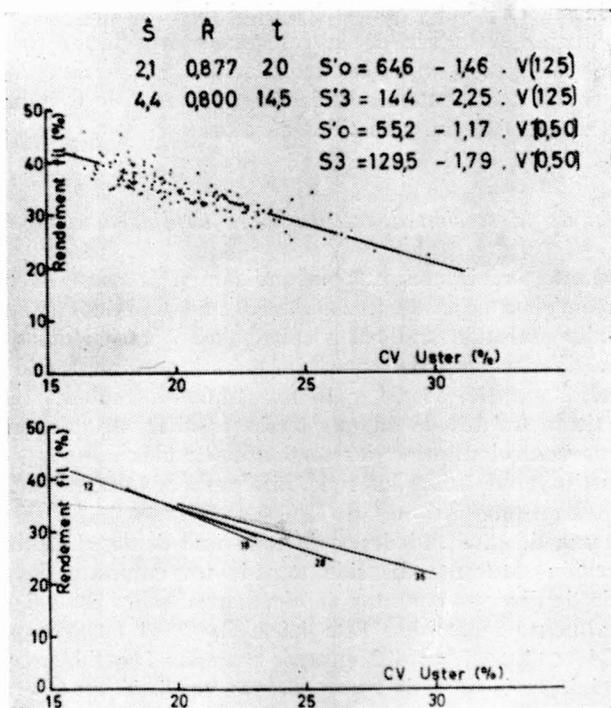


Fig. 22

de variación de masas de 8 mm. en el interior de 0,5 m. A tal efecto, 5 hilos elegidos entre los 150 examinados, cuyos coeficientes de variación USTER v_{125} oscilaban entre los valores extremos de 13 y 22 %, se eligieron.

Cada uno de estos hilos venía representado por una muestra de 5 husos. Sobre cada huso se ha procedido 5 veces a 62 pesetas de trozos sucesivos de 8 mm. y el coeficiente de variación se calculó sobre cada grupo de 62 valores tomándose la media de los 30 coeficientes determinados de esta forma.

Se encontró:

$$v'_{0,50} = - 8,08 + 1,25 v_{125}; R = 0,994 \quad (3)$$

Se tiene finalmente para ρ'_0 combinando las ecuaciones (1) y (3):

$$\frac{L_r}{I_0} = \rho'_0 = 55,15 - 1,17 \bar{v}_{0,50} \quad (4) \quad R = 0,872$$

$$\frac{L_r}{I_3} = \rho_3 = 129,52 - 1,792 \bar{v}_{0,50} \quad (5) \quad R = 0,795$$

Las ecuaciones (4) y (5) expresan resultados extremadamente interesantes. Significan, en efecto, que la longitud de rotura de los hilos considerados es función a la vez de la resistencia específica de la materia, caracterizada por I_0 ó I_3 y de la irregularidad en sección del hilo, caracterizada por el coeficiente de variación de masas de 8 mm. en el interior de trozos de 0,50 m. sometidos a rotura.

6.3. Fijación de la sección de rotura sobre el diagrama de masas.

En este punto, era interesante profundizar en la cuestión y examinar lo que pasa en el interior de trozos de 50 cm. sometidos a rotura.

Este estudio profundo se llevó a cabo sobre 7 variedades de algodón.

Cada una de estas variedades se hiló en los 4 números indicados precedentemente, o sea, 49, 33, 21 y 16 tex (números ingleses 12, 18, 24 y 36) y cada título fué hilado en tres torsiones diferentes: la torsión saturante y, como control ulterior, las torsiones situadas a + y - 15 % de ésta. Se constituyeron así 7 lotes de hilo respectivamente de título 49, 33, 21 y 16 tex en total 28 lotes.

De cada una de las calidades y de cada uno de los 4 títulos de hilos hilados a torsión saturante, ha sido tomada una muestra de 6 husadas. Con la ayuda de diversos aparatos, se efectuaron, sobre estas 6 husadas 24 ensayos igualmente repartidos. Esto hacía 24×4 ensayos por calidad y en total $24 \times 4 \times 7 = 672$ ensayos para las 7 calidades.

En principio cada uno de estos ensayos consistió en operaciones en el regularímetro USTER y en el dinamómetro a fin de fijar la posición de la sección de rotura de un hilo.

6.3.1. Las operaciones en el regularímetro USTER consistieron en:

a) La confección de un diagrama de masas, sobre probetas de 0,50 m. delimitadas por unos cabos de hilo anudadas sobre el hilo, en total 672 diagramas.

b) El marcado sobre cada diagrama, de la abcisa correspondiente a la masa *minimun minimorum*.

c) La indicación sobre cada diagrama de la altura media, es decir, de la masa media obtenida por planimetrado de cada diagrama (ver figura 23).

6.3.2. Las operaciones en el dinamómetro con Straingage consistieron en:

a) La inserción entre las pinzas del dinamómetro de las probetas delimitadas por los nudos, para evitar su destorsión, a fin de determinar el esfuerzo de rotura F de cada probeta que previamente había sido sometida al regularímetro USTER; se reunieron así 672 valores de F (7×96 valores).

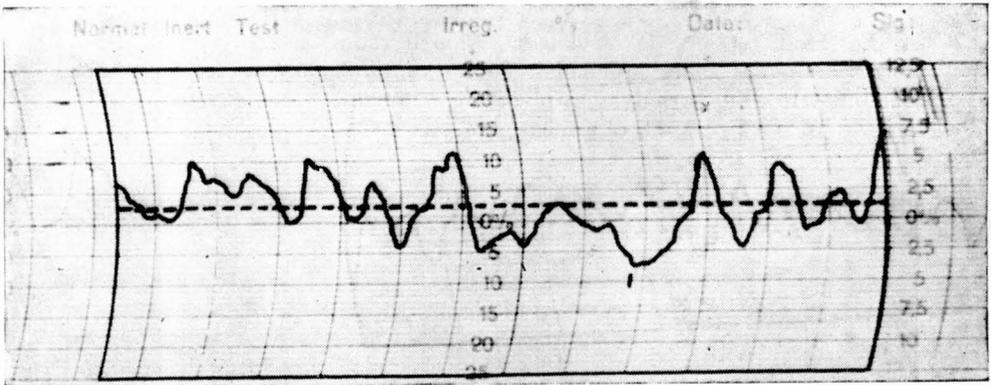


Fig. 23

b) Después de la rotura, se determinó la posición de la sección de rotura de cada probeta y se refirió sobre la abscisa del diagrama USTER

Las operaciones en estos dos aparatos han demostrado que de las 672 secciones de rotura, el 70 % aproximadamente coinciden con las secciones en las cuales la masa pasa por un *minimum minimorum*, + 10 % y que el 80 % aproximadamente de las secciones de rotura se producen en secciones que valen la sección *minimum minimorum* + 20 %; de hecho ninguna sección de rotura alcanzó el valor de la sección media.

Los cálculos ulteriores lo han confirmado, pudiéndose admitir en adelante, que en primera aproximación, todas las secciones de rotura coinciden con las secciones en las que la masa pasa por un *minimum minimorum*.

6.4. *Determinación del esfuerzo de rotura en función del título en las 672 secciones de masa minimum minimorum.*

6.4.1. *Determinación del título en la sección de masa minimum minimorum.*

A tal efecto, cada una de las 672 probetas, fué cortada a ras de pinzas después de su rotura y se pesó. Designaremos por T el título medio en tex de una probeta. Si ϵ es la diferencia relativa en % leída sobre el diagrama de la probeta entre la media del diagrama y el *minimum minimorum*, se tiene:

$$T_{\min} = T \left(1 - \frac{\epsilon}{100} \right) \quad (6).$$

Se dispone así para cada una de las 7 variedades de $24 \times 4 = 96 T_{\min}$ que corresponden a 96 esfuerzos, en total 672 T_{\min} .

6.4.2. *Determinación de \bar{F} en función de T_{\min} para cada calidad.*

Los 96 T_{\min} de cada calidad han sido llevados en abscisas y los 96 T correspondientes sobre ordenadas. Se ha comprobado que los 96 puntos obtenidos se alinean muy sensiblemente sobre una recta que pasa por el origen (ver en figura 24, el gráfico para una de las 7 calidades). Se puede

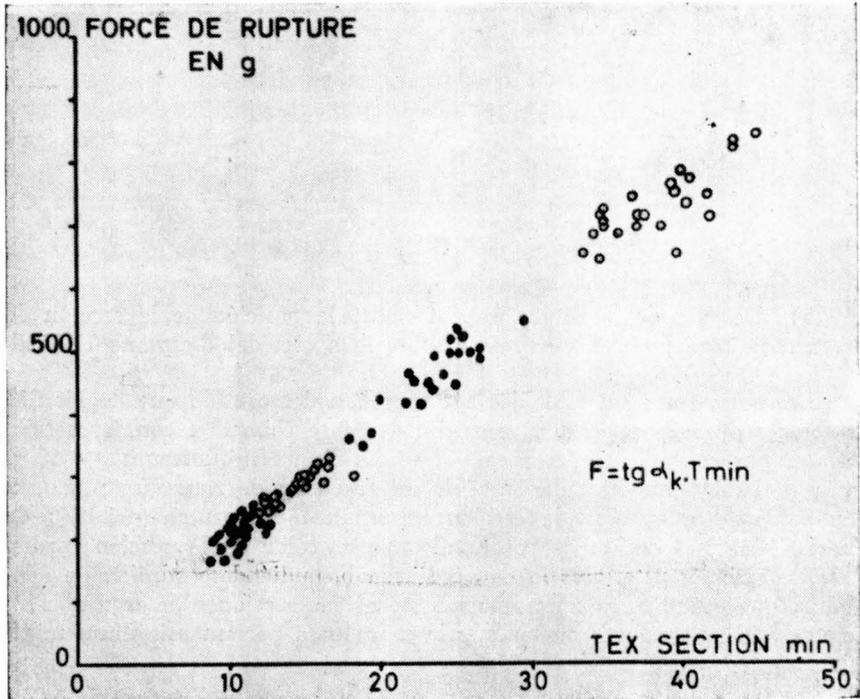


Fig 24

pues escribir con gran aproximación que para una de las 7 calidades, la calidad K por ejemplo, los hilos que poseen las secciones mínimum minimorum de título medio T_{\min} tendrán por término medio una resistencia a la rotura F dada por la fórmula:

$$\bar{F} = t_g d_K \bar{T}_{\min} (7)$$

en la que $t_g d_K$ designa el coeficiente angular de la recta del diagrama (figura 24) correspondiente a la calidad K.

6.4.3. *Relación entre el coeficiente angular I_0 o I_3 .*

Era interesante comprobar si el coeficiente angular $t_g d_K$ de una calidad de algodón tenía alguna ligazón con el I_0 o el I_3 de esta calidad de

algodón. A tal efecto, se han llevado en abscisas los valores de I_0 y de I_3 de cada una de las 7 calidades y, en ordenadas, los valores de los coeficientes $t_g d$ y se ha comprobado (figura 25), principalmente para los valores I_0 que los 7 puntos se encontraban situados sensiblemente sobre una recta que pasa por el origen (figura 25). De ello se dedujo para $\frac{t_g d}{I_0}$ correspondiente a I_0 , el valor de 0,523 y para $\frac{t_g d}{I_3}$ el valor de 0,917.

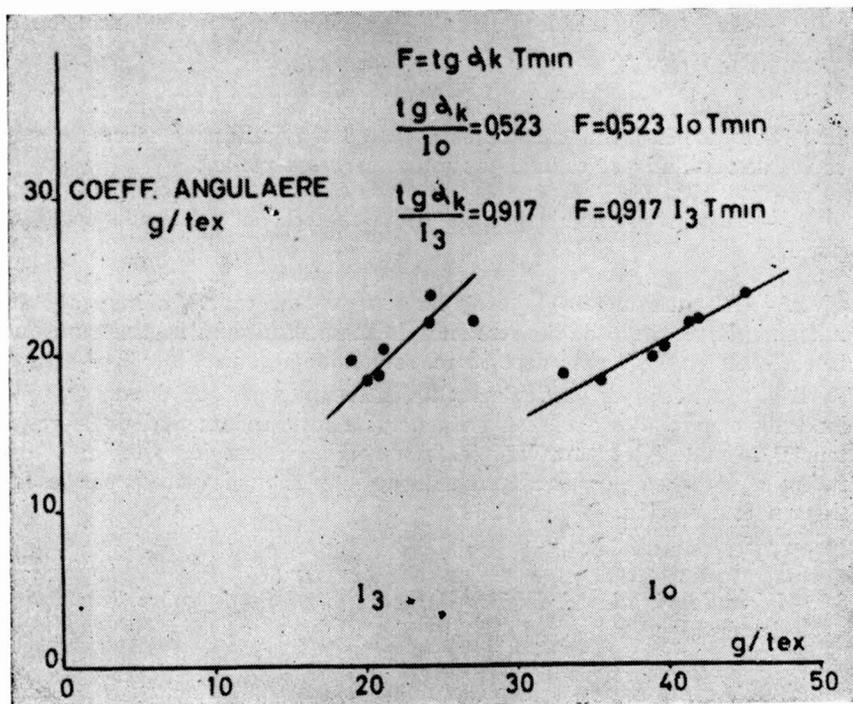


Fig. 25

Teniendo en cuenta estos resultados, la fórmula (7) da lugar entonces a dos fórmulas:

$$F = 0,523 I_0 \bar{T}_{\min} \quad (8)$$

$$\bar{F} = 0,917 I_3 \bar{T}_{\min} \quad (9)$$

Es necesario hacer notar que la figura 25 pone de manifiesto que, en los límites de este estudio, la fórmula (8) es más precisa que la (9), es decir que la influencia I_0 en la resistencia de las fibras consideradas es

mayor que la de I_3 . Esta comprobación no está de acuerdo con los resultados obtenidos recientemente por CRITER (10 y 11) en Francia que demuestran lo contrario. No es nuestra intención detenernos a entablar controversias sobre esta cuestión. Concluiremos simplemente que las fórmulas (8) y (9) son más explícitas que las (4) y (5). Si estas últimas ponen de manifiesto que la longitud de rotura de los hilos considerados era una *función*:

1.º — De la resistencia específica de la materia caracterizada por I_0 o por I_3 .

2.º — Del coeficiente de variación $v_{0,50}$ de las masas de 8 mm. en el interior de trozos de 0,50 m.

Las fórmulas (8) y (9) expresan que la fuerza de rotura media de los hilos con torsión saturante, obtenidos de las 7 calidades sobre las que se ha desarrollado el estudio profundo, es *proporcional*:

1.º — A la resistencia específica de la materia caracterizada por I_0 ó por I_3 .

2.º — Al título medio T_{\min} de las secciones de rotura, o muy aproximadamente, al título de las secciones de masa minimum minimorum que intervienen en los trozos de 0,50 m. sometidos a rotura.

Esta conclusión es particularmente interesante, porque demuestra que los hilos examinados obedecen en general a ley fundamental de la resistencia de materiales para las piezas sometidas a tracción simple: el esfuerzo de rotura es igual al producto de la sección de rotura por la fatiga en esta sección.

6.5. *Fórmulas finales deducidas del estudio profundo sobre 7 variedades de algodón.*

A. — A continuación se ha examinado como está relacionado el título medio minimum minimorum T_{\min} con el título medio T de una serie de probetas pertenecientes a un lote de hilados teniendo en cuenta el coeficiente de variación $v_{0,50}$ en el interior de las probetas sometidas a rotura.

Se podrían utilizar las tablas estadísticas que dan el *rango* medio en función del número de elemento η para una población normal caracterizada por su dispersión σ . Sin embargo para evitar el tener que admitir las hipótesis de normalidad, se ha juzgado preferible el servirse de los 24 diagramas USTER confeccionados para cada uno de los hilos sometidos al estudio profundo y utilizar la diferencia relativa ε entre la media y el minimum minimorum. De esta forma ha sido posible calcular la diferencia relativa media ε_m de los 24 diagramas para cada una de los 28 lotes de hilos.

Estos mismos diagramas han permitido calcular los 24 coeficientes de variación y calcular para cada uno de los 28 lotes la media $\bar{v}_{0,50}$ de los 24 coeficientes de variación.

Se dispuso así de 28 valores ε_m y de 28 coeficientes de variación $\bar{v}_{0,50}$. Los primeros se han llevado en ordenadas y los segundos en abscisas.

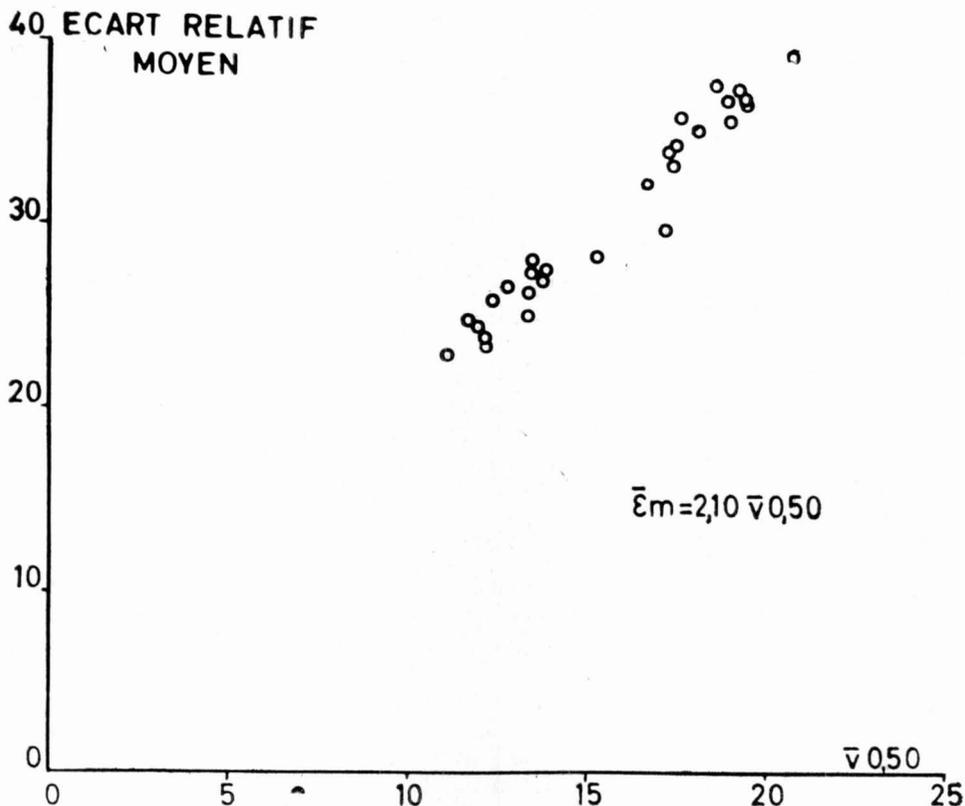


Fig. 26

La figura 26 muestra los resultados obtenidos. Se ve que los puntos se alinean muy sensiblemente sobre una recta que pasa por el origen cuyo coeficiente angular es igual a 2,10:

$$\varepsilon_m = 2,10 \bar{v}_{0,50}$$

que ello resulta que:

$$\bar{T}_{\min} = \bar{T} \left(1 - \frac{\varepsilon_v}{100} = T \right) \left(1 - 2,10 \frac{\bar{v}_{0,50}}{100} \right) \quad (10)$$

B. — Si a continuación se introduce el valor de T_{\min} deducido de la fórmula (10) en las expresiones (8) y (9), se encuentra:

$$\bar{F} = 0,523 I_0 \left(1 - 2,1 \frac{v_{0,50}}{100} \right) \quad (11)$$

$$\bar{F} = 0,917 I_3 \left(1 - 2,1 \frac{v_{0,50}}{100} \right) \quad (12)$$

Comprobemos que se tiene:

$$\frac{F}{T} \cdot \frac{100}{I_0} = \rho_0 \text{ en } \% \quad (13)$$

$$\frac{\bar{F}}{T} \cdot \frac{100}{I_3} = \rho_3 \text{ en } \% \quad (14)$$

Las ecuaciones (11) y (12) nos dan en consecuencia:

$$\rho_0 = 52,3 - 1,1 \bar{v}_{0,50}$$

$$\rho_3 = 91,7 - 1,93 \bar{v}_{0,50}$$

Se ve pues que el estudio ejecutado con las 7 variedades de algodón permite expresar los rendimientos ρ_0 y ρ_3 de los hilos en función del coeficiente de variación de masas de 8 mm. en el interior de trozos de 0,50 m. sometidos a rotura.

Si se comparan estas fórmulas (15) y (16), obtenidas de un estudio profundo de 7 calidades de algodón, con las ecuaciones (4) y (5) que dan los rendimientos estimados a partir de los estudios efectuados sobre 180 spinning test de una cincuentena de algodones, se observa que es tangible la similitud entre las ecuaciones (4) y (15) en las que figuran los valores de I_0 .

Comprobamos en consecuencia, una vez más, que existe mejor correlación con I_0 que con I_3 .

Sea cual sea el caso, los resultados de este estudio ponen de manifiesto que al esfuerzo de los hilos con torsión saturante puede aplicárseles perfectamente la ley clásica de la resistencia de materiales.

7. ESTUDIO DEL ALARGAMIENTO DE LOS HILOS.

La ley clásica de la resistencia de materiales que permite explicar el comportamiento de los hilos sometidos a tracción parece igualmente explicar el alargamiento de las probetas de hilos sometidos a tracción.

Se sabe que el alargamiento $d(\Delta l)$ de un elemento ds , de sección Ω de una pieza constituida por un material que posee un módulo de elasticidad E , solicitado por un esfuerzo de tracción F , viene dado por la fórmula:

$$d(\Delta l) = \frac{F ds}{E \Omega} \quad (17)$$

El alargamiento total, provocado por este esfuerzo es pues:

$$\Delta l = \frac{F}{E} \int_0^l \frac{ds}{\Omega} \quad (18)$$

Cuando el esfuerzo crece de 0 a la rotura, el módulo de elasticidad E de un hilo de algodón puede considerarse como constante, de forma que, si Ω_m es una sección muy próxima de la sección media del hilo, la fórmula (18) se convierte:

$$\Delta l = \frac{E l}{E \Omega_m} \quad (19)$$

El módulo de elasticidad E de los hilos de algodón puede deducirse de los valores obtenidos en ensayos del Stelómetro sobre las fibras constituyentes de los hilos.

Si I_3 y A_3 son respectivamente la longitud de rotura de las fibras y su alargamiento suministrado por este aparato y si γ es el peso específico del algodón, se sabe que:

$$E = \frac{I_3}{A_3} \gamma \quad (20)$$

En cuanto a la sección Ω_m se deduce muy aproximadamente del título medio de los hilos por la fórmula

$$\Omega_m \gamma = T \quad \Omega_m \gamma = T \quad (21)$$

Reemplazando en (19) los valores de E y de Ω_m respectivamente por sus valores deducidos de (20) y (21), se llega a:

$$\frac{\Delta l}{l} = F \cdot \frac{A_3}{I_3} \times \frac{\gamma}{T} = \frac{F}{T} \cdot \frac{A_3}{I_3} = L_r \frac{A_3}{I_3} \quad (22)$$

El valor práctico de esta fórmula se ha examinado utilizando los 28 lotes de hilos que habían servido en el estudio profundo.

De una parte, durante los ensayos de tracción, ejecutados con una tenacidad inicial de 0,5 g/tex, para poder determinar los valores L_r de los

28 lotes de hilados, se han anotado los alargamientos, lo que ha permitido determinar para cada uno de los 28 lotes, la media $\frac{\Delta l}{l}$ de los alargamientos. Se han obtenido así 28 alargamientos $\frac{\Delta l}{l}$ medidos.

$$\epsilon_m = 2,10 \cdot \sqrt{0,50}$$

$$\bar{T}_{\min} = \bar{T} \left(1 - \frac{\epsilon_m}{100}\right) = \bar{T} \left(1 - 2,10 \cdot \frac{\sqrt{0,50}}{100}\right)$$

$$\bar{F} = 0,523 \cdot \bar{I}_0 \cdot \bar{T}_{\min} = 0,523 \cdot \bar{I}_0 \cdot \bar{T} \left(1 - 2,10 \cdot \frac{\sqrt{0,50}}{100}\right)$$

$$\bar{F} = 0,917 \cdot \bar{I}_3 \cdot \bar{T}_{\min} = 0,917 \cdot \bar{I}_3 \cdot \bar{T} \left(1 - 2,10 \cdot \frac{\sqrt{0,50}}{100}\right)$$

$$S_0 = 52,3 - 1,1 \sqrt{0,50} \quad \left. \vphantom{S_0} \right\} \left. \vphantom{S_0} \right\} \begin{cases} S'_0 = 55,2 - 1,17 \sqrt{0,50} \\ S'_3 = 129,5 - 1,79 \sqrt{0,50} \end{cases}$$

$$S_3 = 91,7 - 1,93 \sqrt{0,50} \quad \left. \vphantom{S_3} \right\} \left. \vphantom{S_3} \right\} \begin{cases} S'_0 = 55,2 - 1,17 \sqrt{0,50} \\ S'_3 = 129,5 - 1,79 \sqrt{0,50} \end{cases}$$

Fig. 27

Por otra parte, los ensayos en el Stelómetro, efectuados sobre 7 variedades, han suministrado 7 valores de \bar{I}_3 y de A_3 . Mediante estos valores y los valores de L_r , obtenidos de la ecuación (22) se han calculado 28 valores de $\frac{\Delta l}{l}$ (28 valores de $\frac{\Delta l}{l}$ calculados).

Se ha podido construir un diagrama en el que se han llevado los 28 valores de $\frac{\Delta l}{l}$ calculados en abcisas y los 28 valores medidos en ordenadas. La figura 27 pone de manifiesto que los puntos obtenidos se sitúan muy sensiblemente sobre una línea recta que pasa por el origen de coordenadas.

denadas y cuyo coeficiente angular vale 1,23. Este coeficiente diferente de la unidad, puede explicarse si se admite que, en el hilo, todo pasa como si las fibras estuviesen solicitadas sobre una longitud más corta que en el Stelómetro.

Se sabe, en efecto, que las fibras de algodón se muestran más rígidas (E mayor) cuando están solicitadas sobre pequeña longitud (pinzas juntas) que cuando lo son sobre 3 mm. (Stelómetro).

Este parece aún ser un argumento en favor de la influencia preponderante I_0 sobre la resistencia del algodón.

$$d(\Delta l) = \frac{F ds}{E \Omega}$$

$$\Delta l = \frac{F}{E} \int_0^l \frac{ds}{\Omega}$$

$$\Delta l = \frac{F}{E} \frac{l}{\Omega m} \quad E = \frac{I_3}{A_3} \delta$$

$$\Omega m \delta = T$$

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{F}{I_3} \frac{A_3}{\delta} \times \frac{\delta}{T} = \frac{F}{T} \frac{A_3}{I_3} = Lr \frac{A_3}{I_3}$$

Fig. 28

8. CONCLUSIONES.

Los resultados que acaban de ser expuestos permiten entrever una mejor comprensión de los fenómenos que rigen las relaciones entre las propiedades de las fibras de algodón y las de los hilos con torsión saturante.

Estos hilos se comportaron como piezas elásticas sometidas a la ley clásica de la resistencia de materiales tanto en su resistencia como en su alargamiento.

Por lo que respecta a su alargamiento a la tracción, los resultados obtenidos anteriormente en el número 7 ponen de manifiesto que los hilos

con torsión saturante obtenidos de 7 variedades de las que se ha hecho un estudio profundo, dan alargamientos en concordancia con los deducidos de la teoría.

Por lo que respecta a su resistencia a la tracción, los resultados del estudio ponen de manifiesto que ésta deberá ser proporcional a la resistencia específica de la materia, caracterizada por I_0 o I_3 y a la sección mínima media de los hilos.

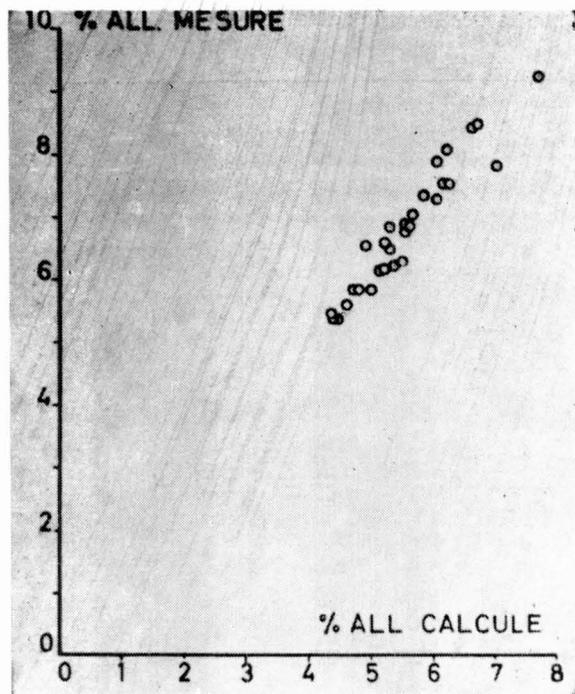


Fig. 29

Y como las secciones mínimas de los hilos son proporcionales al título medio y son función de la irregularidad de masas, se ve que la resistencia media de los hilos de un título determinado es proporcional a la resistencia específica de la materia (I_0 ó I_3), a su título y es función de la irregularidad de masas.

Supuesto esto, se ha comprobado mediante el examen de una centena de algodones comerciales, que la irregularidad de masa de los hilos obtenidos de estos algodones está ligada a las principales características de las fibras por una ecuación de regresión que da lugar a un coeficiente de correlación múltiple relativamente elevado de 0,832.

Además, el cálculo de los coeficientes beta ha demostrado que estos hilos son tanto más regulares cuanto mayor es su longitud media ($-0,452$), cuanto menor es su índice micronaire ($+0,177$) y cuanto mayor es la uniformidad en longitud ($-0,141$).

Teniendo en cuenta todas estas conclusiones, se ve aparecer una explicación racional de la resistencia media a la tracción de los hilos con torsión saturantes: esta es proporcional a su título medio, a la resistencia específica de la materia, función de la irregularidad de masas cuyos factores principales son la longitud de las fibras, la homogeneidad de su longitud y su finura.

Es de esperar que trabajos ulteriores, que confirmen esta forma de ver, permitirán precisar aún mejor el papel desempeñado por las características de las fibras en las propiedades de los hilos.

BIBLIOGRAFIA 3.^a, 4.^a, 5.^a PARTES

- (1) D. DE MEULEMEESTER, G. RAES et T. FRANSEN. — Relations entre les principales caractéristiques des fibres et la résistance du fil. Comptes rendus de recherches I. R. S. I. A., n.º 12, sep. 1953.
- (2) D. DE MEULEMEESTER, G. RAES, T. FRANSEN. — Une nouvelle méthode de mesure de la longueur des fibres (brochure éditée par l'Association des Filateurs de Coton, Gand, 1949).
- (3) D. DE MEULEMEESTER, G. RAES, S. J. SCHURINGA, A. D. J. et O. M. VANDEN ABEELE. — Examen comparatif des méthodes d'appréciation de la maturité du coton (brochure éditée par l'Association Belge des Filateurs de Coton en collaboration avec le Vezelinstituut T. N. O. de Delft, sept. 1950).
- (4) D. DE MEULEMEESTER et G. RAES. — Caractéristiques de certaines variétés de coton, spécialement congolaises (I. N. E. A. C. Série technique, n.º 34 et 35 - 1947).
- (5) AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. — Tensile Strength (Flat Bundle Method) D. 414, 49 T.
- (6) G. DE BACKER. — Etude sur la résistance à la rupture d'un fil de coton. (Annales Scient. Text. Belges - juin 1959).
- (7) New roving twist formule de J. R. CORLEY, J. SIMPSON, L. A. FION and J. J. BROWN. (Text. Res. Journ., oct. 1953, p. 750).
- (8) LANDSTREET C. B., EWALD P. R., HERTEL K. L., CRAVEN C. J. — From cotton. Fineness und length, Chart gives Twist multiplier for maxim strength. (Textile World 104, n.º 10; 106-107, 213, 1954).
- (9) G. DE BACKER. — Contribution à la connaissance fondamentale de la résistance et de l'allongement de rupture d'un fil de coton. Annales Scient. Text. Belges - juin 1961.
- (10) CRITER. — Relations entre quelques caractéristiques des fibres de coton et les propriétés mécaniques des filés. (I. T. F. n.º 88 - mai-juin 1960-78).
- (11) CRITER. — Prévision de caractéristiques de fibres des mélanges coton-coton et leur incidence sur les propriétés des filés et des tissus. (I. T. F. juillet-août 1960, p. 39).
- (12) BARELLA: Phénomènes de cohésion dans les mèches de laine peignée. I. T. F. juillet-août 1960, p. 79).

S. A. JOSE RIUS

Bruch, 20 - BARCELONA - Teléfono 231-19-00

3

Proyectos y valoraciones.

Aparatos de Laboratorio.

Accesorios.

Monturas de maquinaria.

**Representaciones nacionales y
extranjeras.**

~